

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER
FACULTÉ DES SCIENCES

RECHERCHES ÉCOLOGIQUES
SUR LES ARTHROCNEMUM DE FRANCE
ET EN PARTICULIER
SUR LEUR APPAREIL RADICULAIRE

THÈSE

présentée à la Faculté des Sciences de Montpellier

pour obtenir le grade de

Docteur - Ingénieur

par

Asghar NICHABOURI

Ingénieur agronome

soutenue le Novembre 1967 devant la Commission d'examen

JURY :

M. L. EMBERGER, Professeur, Correspondant de l'Institut	Président
M. Ch. SAUVAGE, Professeur	} Assesseurs
M. P. LOSSAINT, Maître de recherches au C.N.R.S.	
M. H.-B. LÜCK, Maître de recherches au C.N.R.S.	
M. J.-J. CORRE, Maître assistant à la Faculté des Sciences.	

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

FACULTÉ DES SCIENCES

RECHERCHES ÉCOLOGIQUES
SUR LES ARTHROCNEMUM DE FRANCE
ET EN PARTICULIER
SUR LEUR APPAREIL RADICULAIRE

THÈSE

présentée à la Faculté des Sciences de Montpellier

pour obtenir le grade de

Docteur-Ingénieur

par

Asghar NICHABOURI

Ingénieur agronome

soutenue le Novembre 1967 devant la Commission d'examen

JURY :

M. L. EMBERGER, Professeur, Correspondant de l'Institut

Président

M. Ch. SAUVAGE, Professeur

M. P. LOSSAINT, Maître de recherches au C.N.R.S.

M. H.-B. LÜCK, Maître de recherches au C.N.R.S.

M. J.-J. CORRE, Maître assistant à la Faculté des Sciences.

} *Assesseurs*

UNIVERSITE DE MONTPELLIER
FACULTE DES SCIENCES

RÉCHERCHES ÉCOLOGIQUES
SUR LES ARTHROPODUM DE FRANCE
ET EN PARTICULIER
SUR LEUR APPAREIL RADICULAIRE

THÈSE

présentée à la Faculté des Sciences de Montpellier

pour obtenir le grade de

Docteur en Sciences

par

Agathe CHABOUREL



Montpellier - 1967

M. J. CHABOUREL, Docteur en Sciences
M. J. CHABOUREL, Docteur en Sciences
M. J. CHABOUREL, Docteur en Sciences
M. J. CHABOUREL, Docteur en Sciences
M. J. CHABOUREL, Docteur en Sciences

FACULTÉ DES SCIENCES DE MONTPELLIER

LISTE DES PROFESSEURS

DOYEN : A. CASADEVALL

ASSESSEURS : Ch. SAUVAGE
P. DUMONTET

DOYEN HONORAIRE : P. MATHIAS

PROFESSEURS HONORAIRES : R. JACQUES J. SOULA
M. CASTERAS G. DENIZOT
E. CARRIÈRE J. GRANIER
E. TURRIÈRE Ch. BOUHET

PROFESSEURS TITULAIRES

M. M. MOUSSERON	Chimie organique
M. L. EMBERGER	Botanique
M. J.P. ROIG	Physique
M. P. CHATELAIN	Minéralogie et Cristallographie
Mlle O. TUZET	Zoologie
Mlle G. CAUQUIL	Chimie organique
M. G. COUCHET	Mécanique supérieure
M. J. SALVINIEN	Chimie - Physique
Mlle A.M. VERGNOUX	Physique
M. J. AVIAS	Géologie
M. P. VIÈLES	Chimie
M. J. RABINOVITCH	Physique (C.S.U. P.)
M. E. KAHANE	Chimie biologique
M. J.J. MOREAU	Mécanique rationnelle
M. B. CHARLES	Mathématiques pures
M. J. MOTTE	Biologie végétale
M. R. JOUTY	Physique
M. P. DUMONTET	Physique
M. R. LEGENDRE	Zoologie
M. I. ASSENMACHER	Physiologie animale
M. A. CASADEVALL	Chimie organique

M. B. PISTOULET	Physique
M. Ch. ROUMIEU	Analyse supérieure
M. J. ROBIN	Physique
M. A. POTIER	Chimie minérale
M. R. LAFONT	Physique
M. R. JACQUIER	Chimie
M. J. FALGUEIRETTES	Minéralogie
M. J. RÉGNIER	Chimie
Mme J. CHARLES	Mathématiques
M. P. CAILLON	Physique
M. J. ROUZAUD	Chimie
M. Ch. SAUVAGE	Botanique
M. H. CHRISTOL	Chimie (E.N.S.I.)
M. A. MARTINEAU	Mathématiques
Mme G. VERNET	Biologie animale
M. L. CECCHI	Physique
M. H. ANDRILLAT	Astronomie

PROFESSEURS SANS CHAIRE

Mme M. L. de POUQUES	Botanique (C.S.U. P.)
M. P. MURAOUR	Géophysique appliquée
Mme M. LAFON	Mathématiques
M. M. MATTAUER	Géologie
M. G. TOURNE	Chimie
M. L. EUZET	Zoologie (C.S.U. P.)
M. J. RÉMY	Géologie
M. P. DEMANGEON	Géologie
M. A. BONNET	Botanique
M. M. SAVELLI	Physique
M. G. DELOUPY	Physique
Mme S. ROBIN	Physique
M. L. GRAMBAST	Botanique
M. J.P. LAFON	Mathématiques
Mme Ch. DUBOUL-RAZAVET	Géologie (C.S.U. P.)
M. E. GROUBERT	Physique
Mme H. GUASTALLA	Biologie physico-chimique
M. G. LAMATY	Chimie
M. F. PROUST	Géologie
Mlle A. BAILLETTE	Mathématiques (C.S.U. P.)

MAITRES DE CONFÉRENCES

M. R. GAUFRES	Chimie
M. A. BASSOMPIÈRE	Physique
M. R. MARTY	Psycho-physiologie
M. M. MAURIN	Chimie
M. J. J. SOULIER	Chimie (C. S. U. P.)
M. J. PARIS	Zoologie
M. P. MOLINO	Mathématiques
M. N. ROBY	Mathématiques (C. S. U. P.)
Mme PARIS-PIREYRE	Physiologie végétale
M. G. BOUGNOT	Physique
M. Y. GUITTON	Physiologie végétale (C. S. U. P.)
M. F. BOMBRE	Physique (C. S. U. P.)
M. C. PUISSEGUR	Biologie animale (C. S. U. P.)
M. P. VIALLET	Chimie (C. S. U. P.)
M. L. THALER	Géologie
M. LEGRAND	Physiologie animale
N.	Mathématiques (M. BOUX)

CHARGÉS D'ENSEIGNEMENT

M. M. LEFRANC	Mathématiques
M. A. STURER	Mathématiques

SECRÉTAIRE PRINCIPAL

M. E. SIAU

A mes parents.

AVANT - PROPOS

Avant d'exposer les résultats de nos travaux, nous nous devons d'exprimer nos sentiments de respectueuse gratitude à Monsieur le Professeur L. EMBERGER, Correspondant de l'Institut, Directeur du Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques du C.N.R.S., qui nous a accueilli dans son laboratoire et nous a toujours soutenu dans nos difficultés, tout au long des trois années que nous avons passées auprès de lui.

Monsieur le Professeur Ch. SAUVAGE, Directeur de l'Institut de Botanique, nous a fait bénéficier d'un enseignement lumineux et nous a toujours guidé dans nos recherches. Nous sommes infiniment heureux de lui adresser ici l'hommage de notre respectueuse reconnaissance.

Monsieur P. LOSSAINT, Maître de recherches au C.N.R.S., à qui nous sommes particulièrement reconnaissant de ce qu'il nous a appris au cours de son enseignement et qui a eu de plus la grande amabilité de vouloir bien faire partie de ce Jury. Nous l'en remercions très respectueusement.

Monsieur J.J. CORRE, Maître Assistant, nous a énormément aidé dans l'élaboration de notre travail et ne nous a pas ménagé ses conseils éclairés; qu'il veuille bien trouver ici l'expression de notre très profonde reconnaissance.

Nous remercions vivement Monsieur le Dr. H.B. LÜCK, Maître de recherches au C.N.R.S., qui nous a aimablement aidé dans la planification de nos recherches et a porté un grand intérêt aux problèmes d'ordre physiologiques et statistiques. De ce fait, il a grandement contribué à l'analyse et à l'interprétation des faits observés.

Nous remercions également très sincèrement Madame S. PUECH de nous avoir initié aux méthodes cytologiques et d'avoir bien voulu vérifier les résultats de nos observations caryologiques, et Monsieur S. SANTA, Chargé de recherches au C.N.R.S., qui nous a accordé une aide précieuse au cours de la mise au point du texte.

Nos sincères remerciements sont à adresser à Messieurs P. MONNIER, L. PASSAMA, B. GARONNE, B. THIEBAUT, qui dans tous les domaines nous ont apporté une aide précieuse et désintéressée.

A Monsieur J. BERTRAND, Ingénieur - Technicien au C.N.R.S., dont les connaissances techniques ont facilité notre travail.

A Monsieur L. GRANEL de SOLIGNAC qui nous a gracieusement aidé dans nos recherches de l'herbier.

A Madame FORT, la très dévouée secrétaire de Monsieur le Professeur EMBERGER, toujours prête à rendre service.

A Mesdames BOTNER et PALOMBA, pour leur aide dans le domaine de bibliographie.

Nous remercions tous nos collègues et amis de Montpellier, en particulier M. et Mme DJAVANCHIR, Mlle M.F. ROBERT et MM. Dj. MORTAZ, M. NEJAD-HACHEMI, E. MARX, J. HOOCK, B. SALEHI, M. SANEI, A. AHMADI, R. RAZAGHI, A. GAHRAMAN, A. KOUPAHI, et M. SADROLACHRAFI, qui ne nous ont pas ménagé leurs encouragements.

Nous tenons à exprimer également notre reconnaissance à Monsieur le Professeur P. BINET et ses collaborateurs de la Faculté des Sciences de Caen qui ont bien voulu nous initier à la physiologie des halophytes.

Nous remercions vivement Monsieur H. PARRIAUD, Maître Assistant à la Faculté des Sciences de Bordeaux qui nous a fait parvenir le matériel cytologique d'A. fruticosum de la région bordelaise, nous permettant ainsi d'étendre notre étude aux spécimens de cette région.

Nous ne pouvons oublier enfin tout ce que nous devons à Monsieur R. SALGUE qui nous a gracieusement aidé pour la mise au point du manuscrit.

Qu'il nous soit permis de remercier aussi les gouvernements de France et de l'Iran qui, en nous accordant les bourses de séjour en France, nous ont permis de mener ce travail à bon terme.

PREMIÈRE PARTIE

G É N É R A L I T É S

CHAPITRE I

DÉLIMITATION ET BUT DU TRAVAIL

Le présent travail a pour but de mettre en évidence les rapports existant entre les facteurs écologiques, plus particulièrement édaphiques, et les systèmes radiculaires des Arthrocnemum de France. La flore française comprend trois espèces du genre Arthrocnemum Moq. ⁽¹⁾ :

A. glaucum (Del.) Ung. Sternb. = Salicornia macrostachya Moric.

A. fruticosum (L.) Moq. = Salicornia fruticosa L.

A. perenne (Miller) Moss. = Salicornia perennis Miller.

Nous nous sommes proposés d'étudier le comportement des racines de deux espèces : A. glaucum et A. fruticosum. Ces plantes qui occupent de vastes régions salées ont un appareil racinaire très superficiel. Ce caractère a été déjà remarqué par plusieurs auteurs, et des hypothèses ont été émises à son sujet.

ADRIANI (1934) a étudié ce problème en fonction des variations de la salinité et de la nature du sol; il constate que dans les sols argileux, l'insuffisance de l'aération est la cause de l'enracinement superficiel de l'espèce,

(1) Nous suivons la nomenclature et la synonymie admises par Flora europaea 1965. (Voir BALL P.W.)

mais il n'a pas étudié ce phénomène quantitativement. BRAUN - BLANQUET (1952 et 1957) fait état de l'enracinement superficiel chez les Arthrocnemum, mais aussi chez d'autres plantes des terrains salés de Camargue, et suppose, comme l'auteur précité, que la cause en est l'insuffisance d'aération de ces sols. Ici non plus on ne trouve aucune précision d'ordre quantitatif.

Récemment R. MOLINIER et coll. (1964) ont étudié les racines d'Arthrocnemum glaucum sur les sols sableux et salés de Camargue; d'après ces auteurs, l'enracinement superficiel de cette espèce serait déterminé soit par l'effet de la nature sableuse du sol, soit par la présence de la nappe salée.

Malgré ces recherches, le problème reste discuté; la preuve en est la diversité des hypothèses émises : on a fait intervenir, pour l'explication de la disposition des racines, des éléments physiques (aération), mécaniques (nature du sol) et chimiques (influence de la nappe et de la salinité).

La divergence d'opinion provient de ce que chaque auteur n'a étudié que quelques-uns des facteurs édaphiques, sans rechercher les autres facteurs qui influencent la disposition des racines, et qui sont, comme nous le verrons, primordiaux.

D'un auteur à l'autre, les stations et les conditions écologiques étudiées diffèrent, d'où il découle que les résultats ne sont ni comparables, ni généralisables.

La nécessité d'une étude comparative reposant sur des bases solides se faisait ainsi sentir. Nous avons entrepris cette étude, et nous avons étudié le comportement des racines d'A. glaucum et A. fruticosum.

Ayant l'ambition de suivre les comportements de l'appareil racinaire en fonction des conditions de milieu, nous avons essayé d'effectuer cette étude dans des stations aussi variées que possible, afin de pouvoir prendre en considération un nombre plus élevé de facteurs.

Dans ce but, nous avons choisi dans la région montpelliéraine, trois localités dont les caractères écologiques sont très différents : l'Espiguette, la crique de l'Angle, le marais de la Grande Palude. Ces différences s'expriment sur le plan édaphique d'une part, et sur les modalités d'apport du sel de l'autre. La première localité présente un sol sableux soumis directement à l'action de la mer. La deuxième est sur un sol lourd argileux et limoneux soumis à l'action de l'eau d'un étang voisin dont la salinité est inférieure à celle de l'eau de mer. La troisième est située au milieu d'un marais entourée par une végétation marécageuse inondée durant une longue période d'eau légèrement saumâtre. Ces trois localités ouvrent un large éventail des conditions écologiques sous lesquelles vivent ces espèces. Nous avons sélectionné sept stations qui se sont réparties dans ces trois localités de la façon suivante : deux à l'Espiguette, trois à la crique de l'Angle et deux dans le marais de la Grande Palude. Dans chacune de ces sept stations nous avons étudié les principaux facteurs écologiques et surtout édaphiques qui influencent l'appareil racinaire; de plus, nous avons observé le comportement des racines dans chacun des cas. Ces deux types d'études, complétés par la mise en évidence des corrélations entre les résultats obtenus, constituent dans l'essentiel l'objet de ce travail.

Ainsi, nous avons été amené à répondre aux deux questions suivantes :

Quelle est la structure de l'appareil racinaire ?

Quels sont les déterminants de cette structure ?

La description de la structure de l'appareil racinaire aurait été grandement facilitée si nous avions disposé d'une classification déjà établie. Or, cette classification fait défaut, et nous avons été obligés, en nous aidant des diverses recherches déjà faites sur les systèmes racinaires, de mettre au point des méthodes qui nous ont permis de décrire ces structures.

Nous avons consacré un chapitre de ce travail à ces techniques et un autre à l'étude des problèmes que pose une classification des appareils racinaires. Quant aux déterminants des diverses structures racinaires, nous les avons recherchés en étudiant les différents facteurs, physiques, chimiques et mécaniques du sol que l'on sait influencer le développement de l'appareil racinaire, à savoir :

- la texture
- la structure
- l'humidité
- la salinité (teneur en ions : Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{++} actif)
- le pH
- la nappe phréatique (variation de hauteur et de salure;
teneur en ions Cl^- , Na^+ , K^+).

L'étude des profils pédologiques des stations et de la position des racines nous a suggéré l'hypothèse que, suivant la profondeur des horizons, ces facteurs subiraient des variations importantes susceptibles d'expliquer la position des racines. C'est la raison pour laquelle nous avons suivi les variations de ces facteurs au sein des différents horizons des profils pédologiques de chaque station.

Mais une seule étude dans l'espace racinaire (dans le profil) de ces facteurs ne serait pas suffisante car un certain nombre d'entre eux subissent des variations importantes au cours de l'année.

Il fallait donc effectuer ces études non seulement dans l'espace mais aussi dans le temps pour déterminer éventuellement l'époque où l'ensemble de ces facteurs, ou quelques-uns seulement, auraient une influence déterminante. En conséquence, nous en avons étudié les variations durant toute une année, de Décembre 1965 à Novembre 1966.

Dans la bibliographie des sols salés on trouve de nombreux travaux sur les variations de la salure suivant la saison (entre autres : ADRIANI - 1934; MOLINIER - 1965; SIMONNEAU - 1957). Les auteurs suivent les variations de la salinité totale ou même très souvent la variation de la seule teneur en Cl^- sans prendre en considération les variations de la teneur en autres éléments.

Dans ce travail, nous avons suivi non seulement les variations quantitatives de la salure totale mais aussi celles des rapports entre les différents constituants de la salinité.

Nos recherches, ayant été effectuées dans des conditions écologiques variées, nous ont permis de mettre à jour les modalités du déplacement des sels en fonction des caractères pédologiques du profil du sol.

Dans l'étude détaillée de nos stations, nous procèderons tout d'abord à une étude descriptive des systèmes radiculaires, puis nous étudierons les facteurs écologiques importants du milieu. Enfin, nous examinerons les corrélations qui existent entre le comportement des racines et les facteurs du milieu.

CHAPITRE II

APERÇU GÉNÉRAL

SUR LA CLASSIFICATION DES RACINES

On sait que la végétation reflète les influences des facteurs du milieu. On dit qu'elle en est le miroir (FLAHAULT), les milieux identiques ont des végétations qui sont homologues.

Les rapports végétaux — milieux ont fait l'objet d'innombrables travaux, mais presque toujours on ne s'est adressé qu'à la seule partie aérienne des plantes. La partie souterraine par contre, qui assure l'établissement des plantes dans un milieu, est à peine considérée.

Depuis RAUNKIAER (1905) qui a eu le mérite de définir "les types biologiques" dans un système clair et simple, l'étude des relations milieu — végétation est devenue plus facile.

Cette classification a concrétisé les rapports supposés et a permis de connaître, dans l'esprit de RAUNKIAER, l'influence du milieu sur le comportement des végétaux. En fait, les choses sont plus complexes. Il n'en est pas moins vrai que le système de RAUNKIAER met à la disposition des

écologistes un outil très utile pour mieux comprendre et exprimer les liens réciproques milieu — végétation.

Mais il est regrettable, quoique compréhensible, que l'on ait toujours, sauf rares exceptions, ignoré les racines en fonction du milieu. Car le système racinaire, comme la partie aérienne, se développe et se plie aux conditions du milieu, mais ces phénomènes sont plus difficiles à démêler.

Voici quelques exemples :

La connaissance des systèmes racinaires présente un très grand intérêt en écologie forestière. La cohabitation d'essences forestières et la concurrence qu'elles se font ont été expliquées par la mise en évidence du comportement de l'appareil racinaire des espèces, comme l'a démontré récemment encore R.D. Mc QUEEN (1966) pour le hêtre et le pin sylvestre.

SAUVAGE et MÉTRO (1957) ont expliqué la physionomie ouverte des subéraies par la structure et le développement du système racinaire du chêne-liège.

WALTER (1951 - 1964) a mis en évidence des relations entre climats et système racinaire des plantes de prairies sèches.

NOVIKOFF (1958) a expliqué la cohabitation des différents groupements halophytes en étudiant leur enracinement.

De nombreux autres exemples de relations étroites entre les facteurs édaphiques et le comportement des systèmes racinaires sont connus, et au cours du présent travail nous aurons l'occasion d'en signaler également.

En résumé, l'étude des racines présente un intérêt de premier plan en écologie.

L'étude systématique des relations entre le comportement des racines et le milieu, la signification des systèmes racinaires, et surtout la représentation de leurs diversités, exige que l'on puisse définir des types de racines. Il faut donc concevoir une classification, comme on l'a fait pour la partie aérienne.

Malheureusement, nous ne disposons pas d'une telle classification générale des racines de sorte que la comparaison des systèmes radiculaires entre eux pour en tirer — au moins en l'état de nos connaissances actuelles — des conclusions intéressantes est extrêmement difficile.

Des essais ont été faits; nous les passerons brièvement en revue et essayerons d'en déduire les principes généraux en vue d'une classification écologique.

METSAVINIO (1931) a étudié en Finlande les plantes des tourbières et a pu distinguer 21 types d'enracinements.

LINKOLA et TURIKKA (1936) chez les arbres forestiers de Finlande ont décrit 29 types d'enracinements.

KIVENHEIMO (1947), dans son étude des plantes des prairies de Finlande, a pu définir 22 types de racines.

CANNON (1949) a proposé une classification comprenant 10 groupes de racines pour les plantes des prairies aux U.S.A.

BOTERNBROOD et coll. (1956), qui ont travaillé sur les plantes des dunes de la région méditerranéenne, distinguent 7 types d'enracinements.

WEAVER (1958) a décrit 5 types de racines chez les Dicotylédones des prairies américaines.

WALTER (1951 - 1960, 2^{ème} édition) a étudié les systèmes radiculaires dans les prairies sèches et distingue 3 types d'enracinements.

YANO (1962) propose 7 classes selon l'enracinement des plantes dunaires du Japon.

DE JONG (1965) a décrit 6 types de racines (avec divisions et sous-types) chez les plantes de l'alliance du Juncion maritimi méditerranéen.

A l'examen de cette brève revue, il apparaît d'abord que les classifications existantes sont partielles parce qu'elles portent sur des types de végétation particuliers et, de ce fait, ne peuvent être généralisées.

Par ailleurs, ces classifications ne s'accordent pas entre elles et la raison en réside dans la diversité de leurs conceptions. La plupart des auteurs, préoccupés par des problèmes morphologiques, ont basé leur classification sur la forme des racines.

Ces caractères sont très nombreux et, de plus difficiles à définir, car habituellement il n'y a pas sur les racines d'organe de multiplication qui nous permette de définir des types généraux (CANNON, loc. cit.)

Il en résulte que la définition et l'importance de chaque caractère sont soumises à la seule appréciation des auteurs. La méthode est donc subjective, ce qui explique la diversité des classifications.

En outre, ces caractères morphologiques varient selon le milieu (CANNON, loc. cit.) et leur stabilité diffère selon les végétations et les stations observées.

Parmi les classifications existantes, celles de WALTER et YANO ont une certaine valeur en écologie car les auteurs font appel à des caractères écologiques c'est-à-dire biologiques, des systèmes radiculaires tels que la profondeur des racines, la surface d'extension et surtout la stratification de l'appareil radiculaire. Ils font également intervenir des caractères morphologiques, mais la conception est marquée par une nette tendance à donner la primauté à l'écologie.

En conclusion, toutes ces classifications sont insuffisantes, tout au moins pour les recherches écologiques.

Il est évident que les classifications conçues d'après les conceptions morphologiques permettent de distinguer des racines morphologiquement différentes, mais bien des racines, de formes variées, peuvent correspondre à une écologie semblable donc à une signification identique. Il convient donc d'envisager une nouvelle classification basée sur les caractères biologiques en rapport avec le milieu, tels que l'extension latérale et verticale de racines, leur stratification.

C'est en effet ici que réside, à notre avis, la solution du problème. Les difficultés d'application de ces principes sont grandes car les critères ne sont pas solides. Les caractères auxquels on peut avoir recours varient de nombreuses manières car ils sont influencés par de nombreux facteurs du milieu qui se combinent de diverses façons.

Plusieurs facteurs écologiques peuvent déterminer des variations dans le même sens.

L'explication de l'appareil racinaire (comportement, position) constatée dans un milieu donné est difficilement généralisable à d'autres régions. Nous avons donc l'impression que la signification des types des racines n'est parlante qu'à l'intérieur d'une région donnée et ne semble pouvoir être généralisable.

Ces difficultés nous rappellent celles que l'on rencontre en climatologie où l'établissement d'une classification doit suivre des principes différents de ceux adoptés par les météorologistes physiiciens.

L. EMBERGER a insisté depuis 1930 sur l'impossibilité d'établir une classification générale des climats valables pour tous les besoins. Lorsqu'on recherche une expression synthétique des climats, par exemple, on ne peut concevoir une formule bioclimatique générale applicable à tous les climats. Une formule établie pour une région bioclimatique donnée, n'a de valeur en principe que dans le cadre du climat pour lequel elle a été faite.

Il nous semble qu'il y a, dans notre domaine, une analogie avec la climatologie, et que la recherche d'une classification écologique des racines doit procéder de la même méthode, c'est-à-dire en mettant l'accent sur les caractères ayant une grande influence sur la biologie des taxons.

Ainsi, les types des racines reconnus pourront être mis en rapport avec les caractères édaphiques.

Il serait également intéressant de voir si le mode d'enracinement des espèces constituant des ensembles de végétation (types de végétation) permet d'y trouver un moyen de perfectionnement de la définition des types biologiques classiques.

L'examen pédologique des profils de sol conserve naturellement toute sa valeur, mais en y ajoutant celui de l'enracinement des végétaux qui y vivent, on en retire des indications complémentaires d'un intérêt écologique indiscutable. La répartition des racines dans le profil est, comme nous le verrons, déterminée par l'ensemble des caractères physiques et chimiques des horizons; elle reflète la totalité des conditions de vie dans le sol et leurs variations.

Certaines de ces propriétés et leurs variations peuvent passer inaperçues dans une étude du seul profil exécutée par les seules méthodes pédologiques. Nos recherches ont montré que l'enracinement renseigne sur certains facteurs agissant temporairement dans le sol, tels la remontée des nappes salées, l'humidité saisonnière, etc. Ces facteurs ne sont pas directement lisibles dans les profils pédologiques et peuvent facilement échapper à l'observation ou être mésestimés si on se borne à une simple description. La forme et la distribution des racines, par contre, peuvent les exprimer clairement et attirer l'attention du chercheur sur certains problèmes auparavant insoupçonnés.

Il serait donc très souhaitable, même sans attendre que nous ayons une classification écologique rationnelle des racines, que dans les études de végétation soient décrites non seulement les parties aériennes mais aussi les parties souterraines.

Au cours de nos recherches, nous avons examiné les variations de l'appareil radiculaire de deux Arthrocnemum en rapport avec le milieu.

Les résultats obtenus en démontreront, nous l'espérons, les liens étroits qui existent entre le milieu et l'attitude du système racinaire, et, par là, l'importance que peut avoir l'étude des racines pour la connaissance approfondie du milieu.

CHAPITRE III

PRINCIPES ET MÉTHODES

On a couramment noté que l'enracinement des végétaux dans les sols salés était superficiel. Considérant que ce phénomène pourrait avoir pour origine la teneur en sels du substrat, nous avons mené notre recherche de la manière suivante :

● LE SOL

Par des prélèvements mensuels nous avons noté dans chaque horizon :

- l'humidité du sol
- la teneur en sels solubles
- la composition en ions de l'extrait aqueux
- le pH
- le calcaire actif.

● LA NAPPE

De la même manière, par des prélèvements mensuels, nous avons suivi les variations :

- du niveau de la nappe
- de sa teneur en sel
- de sa composition ionique.

A côté de l'étude des facteurs concernant la salinité et ses variations, nous avons étudié d'autres éléments édaphiques importants dont les variations au long du profil sont susceptibles d'influencer la répartition des racines, la texture et la structure.

MATÉRIEL ET TECHNIQUE

● TECHNIQUES DE TERRAIN

Nous avons procédé à une description du profil pédologique. Dans cette description, la couleur, les traces d'hydromorphie et l'effervescence à Cl H sont indiquées. La description des autres caractéristiques importantes étudiées, telles que la texture, la structure et le pH a été faite dans les chapitres ayant trait aux différentes stations. La couleur de chaque horizon a été notée à l'aide du code "Munsell soil color charts" (Extrait de U. S. Dep^t Agriculture Handbook, 18, soil survey manual).

Les échantillons destinés aux analyses chimiques ont été prélevés dans les différents horizons distingués et transportés en peu de temps au laboratoire dans des sacs en polyéthylène. Le prélèvement des échantillons

pour les analyses physiques (densité apparente et porosité), exigeant la conservation de l'état structural, a été effectué à l'aide des cylindres en acier de 250 ml par la méthode de Burger 1922 (in DUCHAUFOR - 1965).

● TECHNIQUES DE LABORATOIRE

Granulométrie

Les sols de nos stations, étant des alluvions fines, sont dépourvus d'éléments grossiers supérieurs à 2 mm. La granulométrie de la terre fine (< 2 mm) a été mesurée sur les échantillons préalablement dispersés à l'hexamétaphosphate (DUCHAUFOR - 1965) par la méthode internationale (pipette de Robinson).

Structure

L'état structural de sol est représenté par la porosité, et celle-ci peut être déduite de la densité apparente du sol. Nous avons représenté l'état structural du sol par la mesure de la densité apparente qui consiste à prélever un volume donné (V) de sol et à mesurer le poids sec de ce volume (P);

la densité apparente sera $D' = \frac{P}{V}$ et la porosité $\frac{D - D'}{D} \times 100$

D = densité réelle du sol qui varie très souvent entre 2,55 et 2,6 g/ml.

pH

Les mesures ont été faites au pH - mètre électrique (en solution aqueuse, 1 volume de sol pour 2,5 volumes d'eau).

Humidité

L'humidité a été déterminée après séchage à l'étuve à 105°C jusqu'à poids constant.

Extrait des sels totaux

La méthode d'extraction des sels totaux utilisée est celle de RICHARDS et coll., 1954.

On agite à l'aide d'un agitateur mécanique 10 g de sol (séché à l'air libre) avec 150 ml d'eau bidistillée pendant 15 minutes.

On laisse reposer au moins une heure.

On renouvelle l'agitation pendant 5 minutes; on filtre et l'on dose l'extrait des sels totaux en prélevant 50 ml de filtrat que l'on sèche à l'étuve à 105°C.

Dosage de Cl^- (d'après MATHIEU - 1946)

On dose le Cl^- sur 20 ml de filtrat (pour extrait des sels totaux) par la méthode de CHARPENTIER - VOLHARD.

On ajoute 10 ml de $\text{NO}_3 \text{Ag N}/_{10}$ et l'on dose l'excès de $\text{NO}_3 \text{Ag}$ avec $\text{SNCK N}/_{10}$ en présence d'alun de fer (milieu faiblement acidifié par quelques gouttes de $\text{NO}_3 \text{H}$).

Dosage de Na^+

On dilue le filtrat jusqu'à environ 6 mg de Na^+ / litre (estimé à partir de la teneur en Cl^-). Le dosage est fait à l'aide du photomètre à flamme.

Dosage de K^+

On dilue le filtrat jusqu'à 1/2 g de Cl^- / litre. Puis dosage au photomètre à flamme.

Dosage de Ca^{++} actif

(D'après DRAUINEAU in DUCHAUFOR - 1960, 389 ; MATHIEU - 1946, 201-219).

- Agiter pendant 2 heures 10 g de sol + 250 ml d'oxalate d'ammonium (approximativement N / 5).
- Filtrer sur filtre sans cendre.
- Prélever 10 ml de filtrat, ajouter 10 ml de $\text{SO}_4 \text{H}_2$ (dilué) et quelques gouttes de $\text{SO}_4 \text{Mn}$.
- Titrer avec $\text{MnO}_4 \text{K}$ N/10 (n = nombre de ml versés).

Traiter de la même façon avec 10 ml d'oxalate d'ammonium (N = nombre de ml de $\text{MnO}_4 \text{K}$ versés).

$$\text{Ca}^{++} \text{ o/oo} = (\text{N} - \text{n}) 5,01.$$

Dans le cas des sols riches en matières organiques, on élimine préalablement la matière organique par centrifugation du filtrat avec un mélange de 2 ml de ClNH_4 (solution saturée) et 1 ml de $(\text{SO}_4)_3 \text{Al}_2$ (solution saturée) et 4 ml d'ammoniaque pur. (D'après GEHU)

Laver le culot de centrifugation à trois reprises avec de l'eau ammoniacale à 1 % et chauffée à 60°C et centrifuger chaque fois.

Titrer de la même façon que précédemment.

● MÉTHODES D'ÉTUDE DES RACINES

Notre étude des racines étant destinée essentiellement à la représentation de la stratification des systèmes radiculaires, nous avons choisi les méthodes qui permettent d'atteindre au mieux ce but.

En tenant compte des conditions du travail et des caractères des espèces étudiées, nous avons choisi les méthodes suivantes :

Méthode de WEAVER

(Méthode du repérage des racines sur les profils verticaux). Cette méthode consiste à faire des tranchées verticales à des distances données de la plante et à schématiser la position des racines sur la coupe. Pour faciliter le repérage des racines, WEAVER (1950) divise la surface de la coupe en carrés de 20 x 20 cm. YANO (1962) prend des carrés de 10 x 10 cm.

Dans le cas de notre étude, l'emploi de grille de petits carrés semble faciliter beaucoup le repérage des racines.

Ainsi, nous nous sommes servis d'une grille de carrés 5 x 5 cm réalisée avec un cadre rectangulaire de 30 x 50 cm, rigide, sur lequel nous avons tendu des cordes tous les 5 cm.

Pour appliquer cette technique, nous avons creusé des tranchées larges de 80 cm dont la profondeur varie entre 40 - 60 cm suivant la station étudiée, et nous avons schématisé la localisation des racines sur ces tranchées.

Méthode d'étude de la répartition quantitative des racines

Cette méthode consiste à prélever des échantillons du sol et à étudier la quantité des racines qui s'y trouvent. On compare le poids des racines contenues dans un volume donné du sol à des distances différentes de plantes et à des profondeurs variées.

Le prélèvement se fait à l'aide d'un cylindre de volume connu. Il existe différents types de cylindres plus ou moins perfectionnés et adaptés à des conditions particulières.

Nous avons choisi le modèle mis au point par GOODEWAAGEN (1965) qui est en principe destiné aux sols humides et marécageux.

La caractéristique essentielle de ce cylindre est d'être muni d'un piston capable de créer un vide relatif qui empêche la chute de l'échantillon du sol.

La présence du piston dans le cylindre évite d'une part la chute de la carotte prélevée, et d'autre part, facilite la vidange de l'appareil.

Les échantillons de sol prélevés avec ce cylindre sont lavés et les racines contenues sont séchées et pesées. Le séchage a lieu à l'étuve à 75° C pendant 48 heures.

Le choix de cette température inhabituelle de 75° C a été déterminé par les conditions anormales de travail après la guerre. (SCHUURMAN et GOEDEWAAGEN - 1965, 41) Les auteurs ont comparé leurs résultats avec ceux obtenus par la méthode de dessiccation à 105° et ont constaté qu'il n'y avait que de faibles différences. De plus, le matériel porté à 75° seulement évitait la pulvérisation des racines observée lorsqu'on opérait à 105°. Nous avons donc adopté la méthode de SCHUURMAN et GOEDEWAAGEN.

En mesurant la quantité des racines existant dans un volume donné de sol à différentes distances et à différentes profondeurs, on peut évaluer l'extension des racines et les variations de ces dernières selon la distance ou la profondeur.

Pour étudier la dispersion quantitative des racines avec la distance, nous avons tracé des cercles concentriques de rayon croissant autour de la plante, et nous avons prélevé un certain nombre d'échantillons à l'intérieur de chaque cercle. A partir d'un tel échantillonnage nous avons calculé le poids des racines contenues sous la surface de chaque cercle. On peut même, par cette méthode, évaluer le poids total des racines d'une plante.

En plus de l'application de ces méthodes pour la représentation des racines, nous avons essayé d'illustrer chaque fois que c'était possible, la position des systèmes radiculaires à l'aide de photos et de dessins qui facilitent la compréhension de l'extension des racines chez les différentes espèces.

● TECHNIQUE CYTOLOGIQUE

Nos observations cytologiques ont été effectuées sur des méristèmes radiculaires. Ceux-ci étaient obtenus soit au laboratoire à partir des individus cultivés dans l'eau, soit sur le terrain (dans le cas d'A. glaucum, cette dernière méthode uniquement).

Le fixateur utilisé était un mélange d'alcool absolu 3 volumes et d'acide acétique glacial 1 volume, d'après la formule de FARMER (in DARLINGTON - 1960). La coloration est faite soit par le carmin acétique, soit par l'orcéine acétique. Les organes ainsi colorés sont écrasés dans une goutte d'acide acétique à 45 % entre lame et lamelle.

ANALYSE STATISTIQUE

L'analyse statistique de nos résultats a été effectuée de la façon suivante :

— L'ensemble des données observées dans les quatre stations ont été soumises à une analyse de variance qui permet de tirer des conclusions générales concernant la totalité des observations. Ces conclusions seront données lors de discussion générale portant sur l'ensemble des données observées.

— L'analyse de variance est suivie d'une deuxième étude statistique faite par la méthode du test de DUNCAN qui permet de tirer des résultats à l'échelle stationnelle. Les résultats exposés dans l'étude détaillée des stations sont obtenus par cette dernière analyse.

CHAPITRE IV

ÉTUDE CARYOLOGIQUE DES ESPÈCES ÉTUDIÉES

Partant du principe, établi par ADANSON (1763) et A. L. de JUSSIEU (1789) et les systématiciens qui se sont succédés depuis lors, que la connaissance des taxons doit reposer sur l'ensemble des caractères, nous avons pensé qu'il était intéressant de compléter les descriptions que nous donnons par ailleurs par une étude caryologique de nos deux espèces d'Arthrocnemum.

L'idée première d'entreprendre cette recherche provient de nos observations sur la diversité du comportement morphologique et écologique de ces espèces dans la nature. Cette enquête était indispensable pour interpréter correctement nos observations.

L'étude complète de nos deux taxons aurait exigé des expériences de culture comparée. Il ne nous a pas été possible de les faire à cause des délais qui eussent été nécessaires, les Arthrocnemum étant vivaces et se développant avec une très grande lenteur.

L'étude que nous avons faite nous a permis de constater que tous les individus d'Arthrocnemum glaucum présentent invariablement $2n = 36$, nombre déjà établi par CASTRO et FONTÈS (1946). Ces auteurs n'ont pas clairement indiqué l'origine du matériel étudié, mais le titre du travail "Primeiro contacto citologico con a flora halofila dos salgodos de Sacavem" (Premier contact cytologique avec la flore halophile des sols salés de Sacavem) laisse penser qu'il venait de Sacavem, région qui se trouve à l'embouchure du fleuve du Tage au Portugal.

Il est intéressant de constater que les Arthrocnemum glaucum des côtes françaises, au moins ceux de notre territoire, ont le même nombre chromosomique que ceux des côtes portugaises.

En ce qui concerne Arthrocnemum fruticosum (L.) Moq. notre étude caryologique a montré que le nombre chromosomique chez les individus provenant de nos stations se situe entre 100 et 110.

Ce nombre particulièrement élevé ne nous a pas permis d'effectuer le comptage précis : le chiffre exact nous est donc inconnu. Par contre, il est certain que ce nombre est de l'ordre du double de celui indiqué pour le taxon portugais. Le nombre chromosomique d'A. fruticosum donné par CASTRO et FONTÈS (loc. cit.) est en effet égal à $2n = \pm 54$, nombre publié dans le même article que celui d'A. glaucum portugais. Grâce à la bienveillance de M. H. PARRIAUD qui nous a fait parvenir le matériel cytologique nécessaire, nous avons pu étendre notre étude caryologique aux spécimens d'A. fruticosum de la région bordelaise.

Il semble que les individus de cette région aient le même nombre chromosomique que ceux de la région montpelliéraine, et que selon toute vraisemblance A. fruticosum, sur toutes les côtes françaises, est polyploïde.

Nous supposons donc que chez nous A. fruticosum est polyploïde, issu d'ancêtres dont les individus sont répartis jusqu'aux côtes portugaises.

A. fruticosum des côtes françaises serait donc un taxon différent.

Nous n'avons malheureusement pas pu comparer les caractères morphologiques de ce taxon nouveau avec ceux des individus des côtes portugaises hypoploïdes, de sorte que nous ne savons pas si la variation caryotypique se traduit aussi par des variations morphologiques. L'existence de variations morphologiques avec la différence caryologique nous aurait permis éventuellement d'attribuer au taxon polyploïde un rang d'espèce. Mais, faute de tels renseignements, nous nous croyons seulement autorisé de considérer notre A. fruticosum comme une sous-espèce.

L'espèce A. fruticosum (L.) Moq., décrite par LINNÉ, sous le nom de Salicornia fruticosa L., a donc une sous-espèce dont la caractéristique essentielle, en l'état actuel de nos connaissances, est sa polyploïdie. Les individus de la région montpelliéraine et bordelaise, et peut-être même de toutes les côtes françaises, appartiennent à cette sous-espèce nouvelle que nous dédions à Monsieur le Professeur L. EMBERGER en reconnaissance de son accueil et de son enseignement.

Il faudrait, en réalité, pouvoir s'assurer que l'espèce décrite par LINNÉ est l'espèce diploïde ou hypoploïde. Or le *Species plantarum* n'indique pas avec précision l'origine de l'échantillon déposé dans son herbier; il remarque seulement que l'espèce colonise le littoral méditerranéen.

Etant donné les rapports étroits qui unissaient LINNÉ aux botanistes montpelliérains, il est vraisemblable que l'origine de cet échantillon soit montpelliéraine, et l'espèce type de LINNÉ serait donc polyploïde.

Dans le doute, il nous a paru plus logique de réserver le rang d'espèce aux individus hypoploïdes dont sont nécessairement issus les individus polyploïdes même si c'est à un de ces derniers que LINNÉ a eu affaire.

Nous admettons donc que le taxon décrit par LINNÉ est celui qui possède le nombre chromosomique le plus bas, c'est à dire celui des côtes

portugaises, A. fruticosum (L.) Moq. sensu stricto s'appliquerait aux individus de cette région et de toutes celles où le nombre chromosomique est $2n = 2x54$. CASTRO et FONTÈS pensent que leur matériel à $2n = 2x54$ était déjà lui-même un nombre de polyploïdes, ce qui est possible. L'avenir nous renseignera sur ce point.

Quoi qu'il en soit, le nombre de CASTRO et FONTÈS est le nombre le plus bas connu jusqu'à ce jour pour A. fruticosum.

Bien que tous nos A. fruticosum se soient révélés polyploïdes, il ne s'en suit pas nécessairement qu'il y a identité écologique entre les individus de ces localités où nous avons observé la plante. En effet, ces stations sont écologiquement très diverses et suggèrent qu'il peut exister à l'intérieur du taxon polyploïde des différences écotypiques entre les populations des diverses stations.

Cependant, l'étude morphologique des individus de nos stations n'a mis en évidence, chez nos deux espèces, aucune différence d'ordre qualitatif permettant de distinguer les individus suivant les stations occupées.

Par contre, il existe chez les deux espèces des différences morphologiques d'ordre quantitatif, aussi bien entre individus des diverses localités qu'entre ceux d'une même station.

Les différences observées sont vraisemblablement dues aux variations des conditions écologiques, mais par prudence, ne pouvant vérifier cette hypothèse, nous aborderons la question des variations du comportement des espèces étudiées tout en gardant le souci de l'intervention des différences écotypiques.

A l'étude caryologique des deux Arthrocnemum (A. glaucum et A. fruticosum) nous avons joint celle du troisième et dernier de la flore française : A. perenne (Miller) Moss. = Salicornia perennis Miller.

On a trouvé comme nombre chromosomique de cette espèce, d'après les échantillons provenant de la crique de l'Angle et des Aresquiers $2n = 18$. Ce nombre avait été déjà publié par CASTRO et FONTÈS dans le même article que ceux des deux autres Arthrocnemum.

CHAPITRE V

TERMINOLOGIE DU VOCABULAIRE EMPLOYÉ DANS L'ÉTUDE DES RACINES DE NOTRE TEXTE

Racine primaire : chez les spermatophytes la racine primaire se développe à partir de la radicule de l'embryon.

Racines secondaires : ce sont les ramifications directes de la racine primaire; on dit aussi ramifications de premier ordre, sur elles apparaissent d'autres racines plus fines désignées sous le nom des ramifications de deuxième ordre. On observe aussi en décroissant les racines de troisième, quatrième ordre, etc...

Racine pivotante : racine principale s'accroissant beaucoup et restant plus importante que ses ramifications.

Racine adventive : ce terme a été introduit par DE CANDOLLE en 1827. On désigne par ce terme les racines qui prennent naissance à la surface des tiges (et selon les cas sur les feuilles). Certains auteurs emploient le terme

de "racine latérale" dans le même sens que racine adventive (PAVILLARD 1901; BACH et coll. - 1955 in DE JONG - 1965). Nous avons toujours employé le terme de "racines adventives" dans notre étude.

TROLL, 1949 (in DE JONG - 1965) propose plus particulièrement le terme de racine kladogène (du mot kladus = tige en grec) pour les racines naissant sur la tige. Le système obtenu par les ramifications de ces racines serait appelé "le système kladogène". Cet auteur propose aussi le terme de "système primaire" pour tout ensemble des racines issues de la racine primaire.

D'après TROLL l'enracinement d'une plante serait appelé homogène lorsqu'il n'y a qu'un seul système primaire ou kladogène, et hétérogène lorsque les deux systèmes coexistent. Les propositions de TROLL n'ont pas été suivies dans nos descriptions des racines.

Radicelle : on désigne par ce terme les ramifications les plus fines, ou racines de dernier ordre.

CHAPITRE VI

CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES RACINES

D'A. GLAUCUM ET A. FRUTICOSUM

Les caractères morphologiques des parties aériennes de ces deux espèces se ressemblent beaucoup, et, au premier abord, celles-ci sont difficiles à distinguer l'une de l'autre.

Les systèmes racinaires de ces Arthrocnemum présentent également de nombreuses similitudes : la forme d'extension et le mode de développement des racines, notamment, sont pratiquement les mêmes chez les deux espèces.

- Les racines sont dépourvues de mycorrhizes.
- Leur ramification se limite très souvent aux racines de troisième et quatrième ordre, au-delà de ce degré, les ramifications sont très rares.
- La couleur des racines est pratiquement la même chez les deux espèces, mais elle varie d'une station à l'autre.
- Enfin, l'appareil racinaire possède des racines adventives; il est hétérogène au sens de W. TROLL - 1949 (in DE JONG - 1966).

Il résulte de ces ressemblances que les fragments de racines de ces deux espèces ne sont pratiquement pas distinguables.

A. glaucum et A. fruticosum cohabitent fréquemment; cependant, nous avons observé par endroit des phénomènes de déplacement de l'une de ces espèces par l'autre.

Il serait souhaitable de préciser ces phénomènes au niveau des racines; cela exigerait que l'on puisse reconnaître les racines de chaque espèce et la connaissance de la répartition qualitative et quantitative des racines en présence.

L'étude du développement des racines sur un même individu n'a pas été possible : le développement des deux espèces qui sont vivaces étant très lent. Nous avons été obligé d'avoir recours pour cette étude, à des racines d'individus d'âges différents.

DÉVELOPPEMENT DES RACINES DES ARTHROCNUM AU COURS DE L'ANNÉE

Les phénologies des parties aériennes des deux Arthrocnemum étudiés sont radicalement différentes. Les phénomènes biologiques ne se déroulent pas de façon simultanée chez les deux espèces; par exemple, A. glaucum fleurit en juin, tandis qu'A. fruticosum en octobre; c'est d'ailleurs un fait qui facilite très souvent la distinction des deux espèces.

A l'encontre des différences phénologiques ci-dessus le mode de développement des racines des deux Arthrocnemum, au cours de l'année, est très semblable.

La période du développement intensif des racines correspond à la saison humide et froide. Les radicelles nouvelles et blanches commencent à apparaître à partir d'octobre, à la suite des premières pluies automnales qui entraînent un lessivage brusque des sels solubles de la surface. On les observe abondamment jusqu'au mois de février, bien que les conditions thermiques ne soient pas très compatibles avec une forte activité biologique.

Nous avons noté que l'apparition des radicelles est relativement plus précoce chez A. glaucum que chez A. fruticosum; pour ce dernier, on observe un décalage de 15 jours environ.

A partir du mois de mars, l'apparition des radicelles est fortement réduite et à la fin de mars on ne trouve pratiquement plus de radicelles blanches chez ces espèces. Il est remarquable, qu'au cours de la période d'activité intensive des racines, les parties aériennes sont à l'état de repos. On n'y observe aucun signe d'activité notable. C'est seulement à partir de mars que l'on note un reverdissement des parties aériennes et on assiste au démarrage de la nouvelle ramification.

La saison humide et froide où se situe le développement intensif des racines, correspond à la baisse de la salinité et surtout à l'augmentation de l'humidité du sol, ce qui entraîne une diminution de la concentration en sels du milieu. Cette diminution semble être à l'origine de l'intensité d'activité des racines.

Etant donné qu'à cette période les conditions thermiques ne sont pas propices à l'activité biologique, on peut penser que l'influence des variations saisonnières de la salure sur la phénologie des racines est prépondérante.

CHAPITRE VII

DESCRIPTION DES STATIONS

CHOISIES DANS LES TROIS LOCALITÉS

Les Arthrocnemum ont une très large tolérance écologique; ils vivent dans des conditions de milieu très variées, dont le caractère commun essentiel est la présence du sel, mais ils se plient également à d'autres facteurs du milieu édaphique. Cette souplesse écologique est accompagnée de caractères dans le comportement et, avons-nous constaté, surtout dans l'enracinement.

Ne pouvant étudier méthodiquement un grand nombre d'individus, nous avons choisi de nous limiter à ceux croissant dans un certain nombre des stations citées dont les conditions écologiques étaient les plus représentatives, et suffisamment différentes les unes des autres.

Sept stations réparties dans les trois localités différentes précitées (p. 4) de la région montpelliéraine ont été choisies.

Ces localités où sont situées les stations étudiées ont été portées sur la carte. (Figure N° I)

SITUATION GÉOGRAPHIQUE DES SECTEURS ÉTUDIÉS

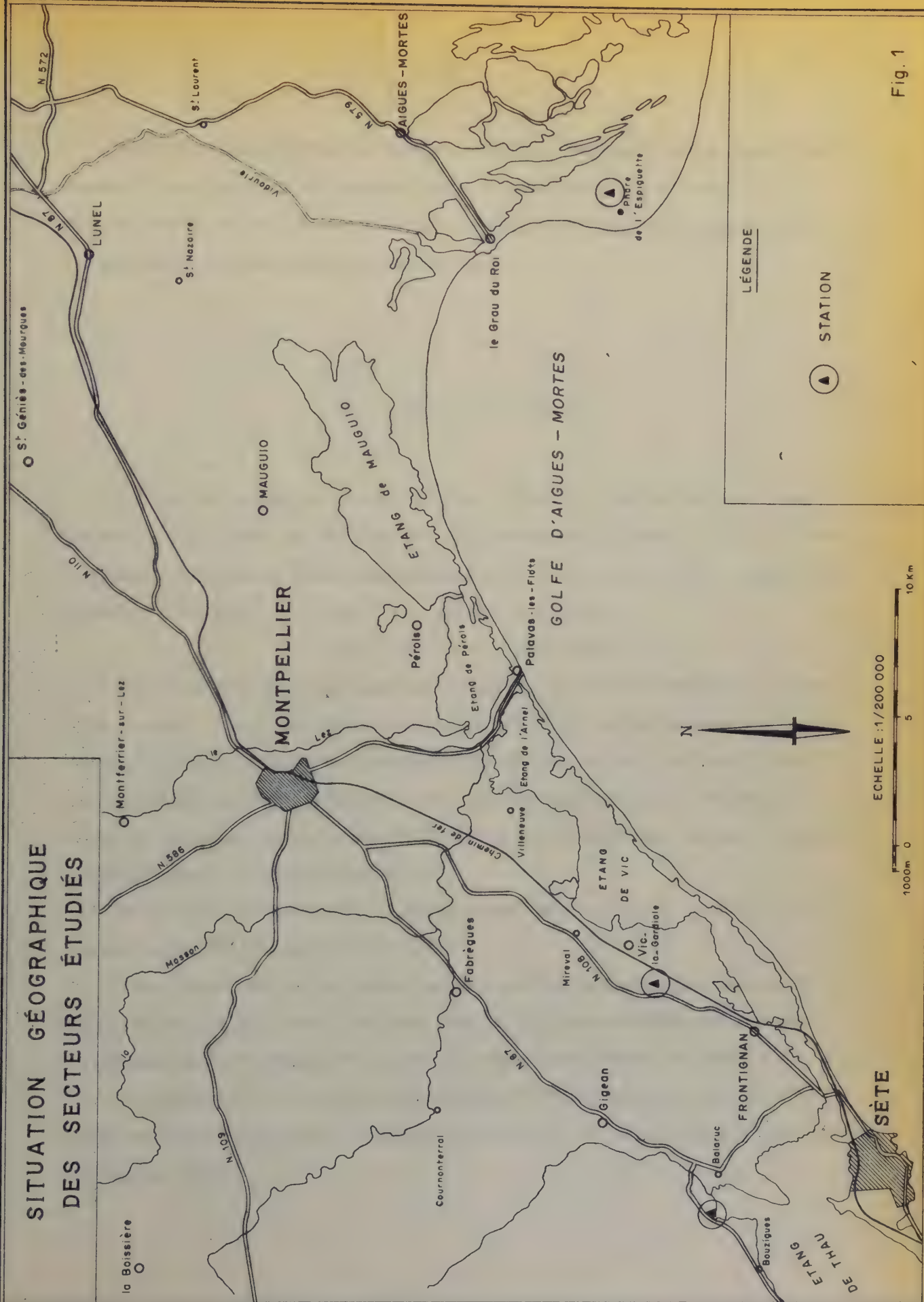


Fig. 1

Nous décrirons brièvement dans ce chapitre les grands traits caractéristiques de ces localités, afin de permettre aux lecteurs d'avoir une idée d'ensemble du milieu. Les détails des conditions écologiques particulières à chaque station seront étudiés ultérieurement.

I. ESPIQUETTE

La localité choisie se trouve à 5 km à l'est du Grau du Roi, à 1 km au nord-est du phare de l'Espiguette. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes (d'après la carte géographique de l'I.G.N. Grau du Roi type 1922, échelle 1/50 000) :

Lat. 48, 32 G (134 Lamb.)

Long. 2, 2 G (747 Lamb.)

C'est une zone plate formant une sansouire qui s'étend derrière la plage. Elle se situe à 1,4 km de la mer. Entre elle et la mer se trouvent les dunes qui font obstacle, lorsque les tempêtes automnales ne sont pas trop fortes, aux invasions marines. Cependant, elle est toujours soumise à l'influence de l'eau de mer parce qu'au moment des très grandes tempêtes, la mer l'envahit régulièrement et l'inonde d'eau salée.

Le sol y est très sableux; le sable constitue environ 85 à 95 % du sol, suivant les différents horizons du profil.

Cette région fait partie des formations géologiques récentes, datant du quaternaire; ce sont des formations dues à l'action constructive de la mer qui accumulent progressivement, ici, les apports alluviaux du Rhône.

Par ailleurs, le plan d'eau salée se trouve relativement proche de la surface. Sa profondeur est, en général, de l'ordre de 65 cm. Sa salinité varie suivant la saison.

Une autre raison qui a déterminé le choix de cette localité est la végétation qui y est mieux conservée qu'ailleurs, l'endroit étant peu accessible et relativement à l'écart des agglomérations humaines.

Récemment, on a construit une nouvelle route qui va accentuer certainement l'action destructrice du tourisme dans cette région.⁽¹⁾

Fort heureusement, une bonne partie de la localité a été mise en réserve biologique. La tâche des chercheurs qui sont gênés par les touristes et les chasseurs⁽²⁾ en est beaucoup facilitée.

Dans cette localité de l'Espiguette, nous avons choisi deux stations pour prélever des échantillons du sol et de la nappe. Les résultats obtenus dans les deux étant très voisins, nous ne représenterons, dans ce texte, que les données observées dans l'une d'elles. Les résultats sont exposés plus loin. (p. 52 à 90)

Indiquons ici, pour le moment, seulement les caractères les plus représentatifs de la station. Ce sont :

- 1° le sol sableux;
- 2° la proximité de la nappe salée;
- 3° l'inondation périodique par l'eau de mer.

A cet ensemble de facteurs correspond une végétation très ouverte, clairsemée et floristiquement pauvre, traits qui sont tout à fait caractéristiques.

(1) C'est ainsi qu'en cours de recherche, une de nos stations a été détruite par la construction d'une route, et a dû être remplacée. Les résultats déjà obtenus ont dû être abandonnés.

(2) Beaucoup de temps a été perdu pour réparer les dégâts faits par l'inconscience des touristes.

II. CRIQUE DE L'ANGLE

Cette localité est située sur le bord de l'étang de Thau, au lieu dit crique de l'Angle, à 1 km au sud-est de Balaruc-leVieux, à 250 m à l'est de la route nationale 113. Ses coordonnées géographiques sont (d'après la carte topographique de l'I.G.N. de Sète type 1922, échelle 1/50 000) :

Lat. 48, 29 G (103 Lamb.)

Long. 1, 49 G (708 Lamb.)

Nous avons choisi cette localité pour illustrer l'écologie des Arthrocnemum vivant en bordure d'étangs.

La caractéristique essentielle est la finesse de la texture du sol.

La cause de l'abondance d'éléments fins en bordure d'étangs est à rechercher dans le processus de sédimentation et de l'alluvionnement.

Dans les régions où l'alluvionnement l'emporte sur l'érosion, la sédimentation marine apporte au littoral des éléments grossiers, tandis que l'étang dépose des éléments beaucoup plus fins; la formation des sols limoneux et argileux sur les bords des étangs en est favorisée.

Les sols qui se forment ici sont différents de ceux des sables salés sansouires ⁽¹⁾, ce qui résulte de la finesse des dépôts qui détermine en particulier le taux de rétention de l'eau, ainsi que le type de structure, donc l'aération.

Il y a encore une autre différence entre nos bords d'étangs et les sansouires de l'Espiguette : les modalités de l'immersion sont différentes.

(1) Pour la définition, voir R. MOLINIER et G. TALLON - 1965.

Les bords de l'étang sont inondés par de l'eau qui est moins salée que l'eau de mer; et le rythme des inondations est également différent, la moindre tempête suffisant pour couvrir les bords d'une couche d'eau.

Ces conditions déterminent une végétation dont la physionomie et la composition floristique diffèrent beaucoup de celles des autres stations.

A la crique de l'Angle, nous avons choisi trois stations qui se trouvent à proximité de l'étang en terrain plat légèrement en pente vers l'étang. Le plan d'eau salée y est à proximité de la surface. Sa profondeur en été est de l'ordre de 80 cm. Par contre sa salinité ne subit pas de profondes variations saisonnières. Nous pouvons résumer les caractères importants de cette localité de la façon suivante :

- 1° la nature fine du sol;
- 2° la proximité de la nappe salée;
- 3° la submersion temporaire par l'eau de l'étang.

III. MARAIS DE LA GRANDE PALUDE

Le marais de la Grande Palude se situe à 2 km environ au sud-ouest de Vic-la-Gardiole, à 4 km au nord-est de Frontignan, à 500 m à l'est de la route nationale 108 et à 3 km au nord-ouest des Aresquiers.

Ses coordonnées géographiques sont (d'après la carte topographique de l'I.G.N. de Sète type 1922, échelle 1/50 000) :

Lat. 48, 31 G (132 Lamb.)

Long. 1, 60 G (717 Lamb.).

C'est un biotope marécageux qui se trouve au fond d'une grande cuvette, laquelle s'ouvre vers l'étang d'Ingril. Il est couvert par des formations quaternaires récentes.

La construction de la voie de chemin de fer de Montpellier - Sète a coupé ce marais en deux, mais les deux parties communiquent entre elles sous les ponts de la ligne.

Cette cuvette reçoit les eaux de pluie qui se sont infiltrées dans le massif voisin de la Gardiole et qui ressortent par de nombreuses résurgences en s'écoulant dans le marais. En plus de l'apport d'eau douce, par infiltration et ruissellement, ce marais reçoit de l'eau de mer par un mécanisme particulier qui sera signalé plus loin : l'eau de submersion est, de ce fait, saumâtre.

Le marais est submergé pendant huit mois par an; le tapis végétal est essentiellement composé d'éléments typiquement marécageux, tels que : Juncus maritimus Lam., Juncus subulatus Forssk, et Scirpus maritimus L. Au milieu de cette végétation existent des petites taches d'Arthrocnemum dont nous expliquerons la présence dans l'étude détaillée.

Les conditions écologiques de cette localité sont totalement différentes de celles des deux précédentes, les différences se manifestant aussi bien par les propriétés édaphiques que par la physionomie de la végétation. Tandis que dans les stations des deux localités précédentes, l'évolution du sol était régie par la seule salinité, elle est ici dominée par la salinité et par la submersion prolongée.

L'action combinée de la salure et de l'inondation prolongée crée un milieu halomorphe particulier, qui présente, ainsi que nous le verrons, plusieurs caractères des sols hydromorphes. Ce sont ces conditions particulières qui favorisent l'installation d'une végétation si différente de celles

des deux autres localités, aussi bien par la composition floristique que par la physionomie.

Les variations de la physionomie de la végétation sont dues, non seulement, du fait que des espèces nouvelles y figurent mais encore aux changements de forme (habitus, des auteurs de langue allemande) des espèces communes (Arthrocnemum). La différence de texture que nous avons constatée entre les sols de ce marais joue un rôle important dans l'individualisation de ces différences.

Ce facteur peut paraître secondaire en comparaison avec la submersion, mais, en réalité, son importance reste toujours de tout premier plan, car il s'agit de sols salés et l'on sait que dans ces sols la texture a une importance particulièrement grande, en raison de son action sur la capacité de rétention de l'eau et, par conséquent, sur la concentration de la solution du sol. Ici, la texture est du type limon fin argileux.

Nous aurons l'occasion de revenir en détail sur les diverses variations des caractères du sol.

Résumons les grands traits caractéristiques du marais de la Grande Palude. Ce sont :

- 1° la modalité de l'apport du sel;
- 2° la durée d'inondation;
- 3° la nature fine du sol.

Dans ce marais, nous avons choisi deux stations dont les végétations et les conditions écologiques présentent des différences notables.

Nous exposerons plus loin, les données qui y ont été recueillies.

On constate que l'écologie de ces régions tout en restant dominée par la présence de sel, est plus ou moins profondément influencée par d'autres facteurs d'une importance secondaire, mais non négligeable.

Nous verrons que l'influence de ces facteurs se traduit de façons différentes sur la manière dont le sel intervient, lequel est resté facteur dominant.

CHAPITRE VIII

ÉTUDE CLIMATOLOGIQUE

CLIMAT DE L'ESPIGUETTE

Notre étude climatologique de cette station a été grandement facilitée, du fait que J.J. CORRE et J.A. RIOUX ont déjà étudié le climat de la région, et ont eu l'obligeance de nous donner accès à leur documentation, bien qu'elle soit encore inédite. Grâce à ces documents et à ceux que nous avons obtenus à la station météorologique d'Aigues-Mortes, située à 10 km (vol d'oiseau) au nord-est de l'Espiguette, nous avons pu avoir une idée de la climatologie de cette station.

Les données météorologiques ayant été relevées depuis l'année 1958, nous ont permis d'étendre notre étude aux huit dernières années (58 à 66, 8 années biologiques⁽¹⁾).

(1) L'année biologique a été considérée comme commençant le 1^{er} septembre.

Le tableau N° 1 résume les régimes pluviométriques qu'a connu cette région pendant ce laps de temps. L'examen des statistiques montre que pour la période étudiée, la moyenne des précipitations annuelles est de 581,7 mm et que le régime pluviométrique moyen (moyennes de précipitations saisonnières rangées dans l'ordre de pluviosité décroissante) est du type A.H.P.E., donc méditerranéen.

Bien que la répartition des précipitations soit en général du type méditerranéen, il y a des années où le caractère méditerranéen est moins accentué. C'est le cas de l'année biologique 58 — 59 par exemple.

Mais le fait que l'indice d'aridité estivale d'EMBERGER ⁽¹⁾ pour cette même année est inférieur à 7, indique que la sécheresse estivale, caractéristique du climat méditerranéen, persiste encore, de sorte qu'on peut considérer néanmoins que l'on est toujours biologiquement dans les limites du climat méditerranéen.

Les sept dernières années présentent toutes une répartition des précipitations de type méditerranéen et un indice d'aridité estivale inférieur à 7.

De ces observations, on peut donc conclure que nous sommes en présence d'un climat de type méditerranéen, légèrement atténué à cause de la pluviosité estivale. Cette conclusion est semblable à celle qu'ont tirée J.J. CORRE et J.A. RIOUX, ayant basé leurs études sur une période plus longue que nous (18 ans), ces auteurs ont pu tirer une conclusion plus ferme et considérer le climat en question comme un climat méditerranéen de transition.

La valeur du Q (quotient pluviothermique) ⁽²⁾ d'EMBERGER,

(1) $I_{ae} = \frac{Pe}{Me}$ = rapport de précipitation estivale sur la moyenne des températures maximales de l'été.

(2) $Q = \frac{1\ 000\ P}{\frac{M + m}{2} (M - m)}$ P : Précipitation annuelle en mm
M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en degré absolu
m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid en degré absolu

Tableau N° 1

Aigues - Mortes

Année biologique	A	H	P	E	Total annuel	Régime pluviométrique	I a e	Climat du type
58 - 59	108,7	<u>63,3</u>	168,8	119,4	460,2	P.E.A.H.	4,21	transition
59 - 60	218,9	161,7	230,5	<u>107,7</u>	718,8	P.A.H.E.	4,28	méditerranéen
60 - 61	195,9	103,2	122,0	<u>24,3</u>	445,4	A.P.H.E.	0,87	"
61 - 62	298,5	107	118,6	<u>12,5</u>	536,6	A.P.H.E.	0,50	"
62 - 63	252,7	206,4	<u>82,8</u>	87,0	628,9	A.H.E.P.	3,30	"
63 - 64	289,9	209,2	152,3	<u>65,3</u>	716,7	A.H.P.E.	2,31	"
64 - 65	289,4	175,3	<u>24,0</u>	46,9	535,6	A.H.E.P.	1,79	"
65 - 66	260,4	170,5	<u>88,1</u>	92,5	611,5	A.H.E.P.	3,60	"

Moyennes des précipitations saisonnières de 8 ans

Saisons :	A	H	P	E
Pluviosité :	239,30	149,57	123,38	<u>69,45</u>

Régime moyen A.H.P.E.

Moyenne des valeurs d'indice d'aridité estivale = 2,61

Moyenne des précipitations annuelles de 8 ans = 581,71 mm

Tableau N° 2

Aigues - Mortes

Année biologique	Valeur de m	Mois	Valeur de M	Mois	Q = valeur annuelle
58 - 59	2,5	janvier	30	juillet	57,81
59 - 60	4,0	"	26	juillet et août	113,36
60 - 61	1,5	"	28	juillet	57,01
61 - 62	2,1	février	27,5	août	73,35
62 - 63	- 0,1	"	29,7	juillet	74,06
63 - 64	1,3	juillet	26,8	"	87,41
64 - 65	0,0	février	26,3	août	69,73
65 - 66	1,5	"		juillet	85,88

Moyenne m^- = + 1,6

M^- = 27,96

Q pour 8 ans = 76,63

pour ces huit années, est de 76,63 et m de $+1,6^{\circ}$ (calculs d'après les moyennes de 8 ans). Tableau N° 2

D'après ces données, on peut situer le climat de cette région sur le climagramme pluviothermique de Ch. SAUVAGE (1961). (Figure N° 2)

Ainsi cette station aurait un climat méditerranéen subhumide de transition à hiver frais.

CLIMAT DE LA CRIQUE DE L'ANGLE ET DU MARAIS DE LA GRANDE PALUDE

L'étude climatologique de la crique de l'Angle n'a pu être faite que très approximativement à l'aide des données recueillies dans la station météorologique de Sète - Sémaphore (Fort Richelieu) qui se trouve à 7,5 km au nord-ouest de cette station.

Sète - Sémaphore est également la station météorologique la plus proche de notre troisième station de recherche (marais de la Grande Palude). Elle se trouve à 11 km au sud-ouest de cette dernière.

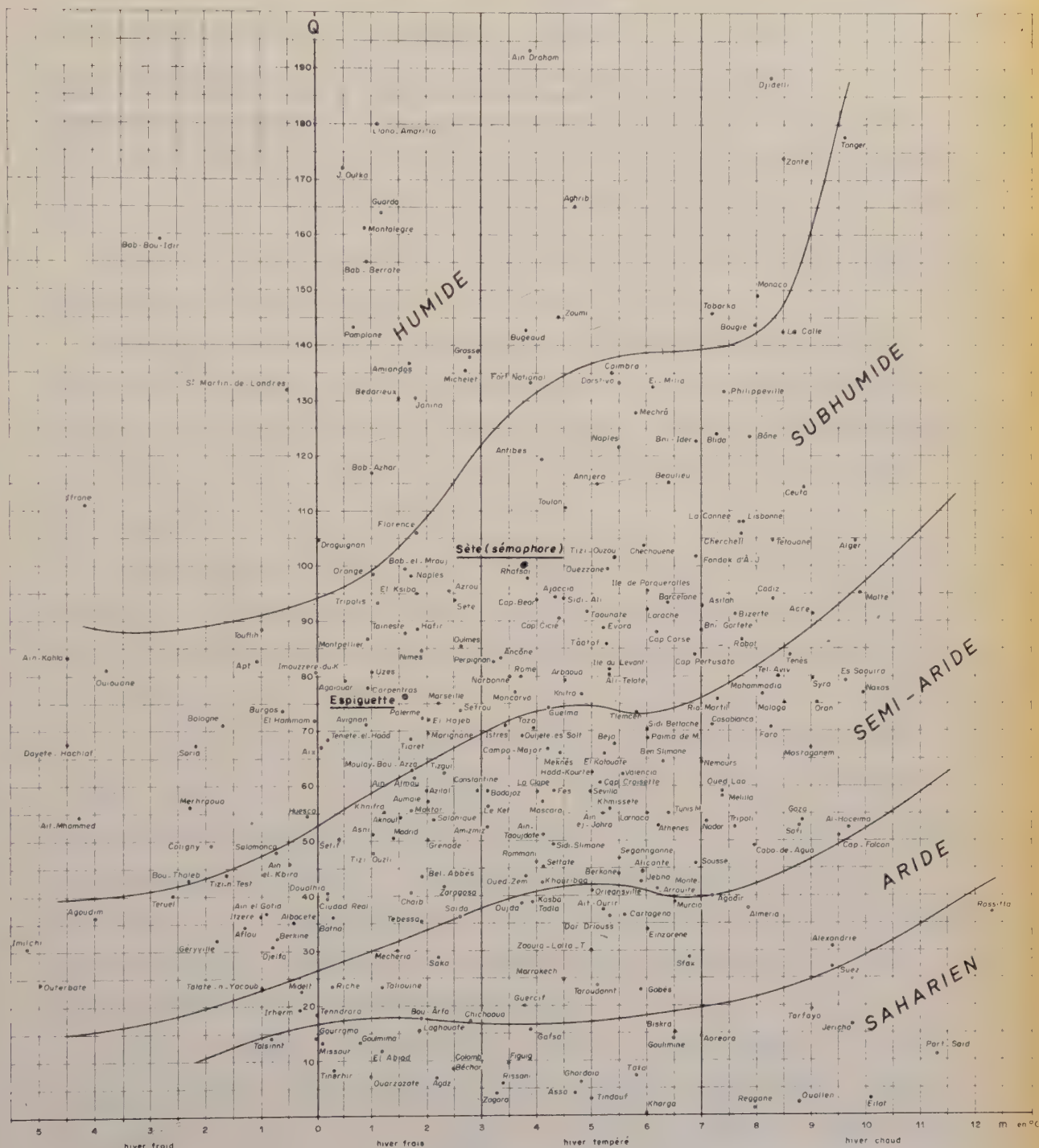
Cette étude comprend donc le climat de ces deux localités.

Un point important est à signaler : la différence d'altitude existant entre nos stations de recherche et la station météorologique de Sète - Sémaphore, car la crique de l'Angle et le marais de la Grande Palude se trouvent pratiquement au niveau de la mer, donc à une altitude nulle, tandis que Sète - Sémaphore est à 94 m d'altitude. Cette différence est à considérer avec toutes ses conséquences possibles sur l'application de ces données sur nos localités, mais malheureusement, l'absence de station météorologique plus proche ne nous a pas permis de faire mieux.

CLIMAGRAMME PLUVIOTHERMIQUE DU COEFFICIENT D'EMBERGER

$$Q = \frac{1000 P}{\frac{M+m}{2} (M-m)}$$

(dans lequel M et m sont exprimés en degrés absolus) d'après le climagramme dressé par Ch SAUVAGE (1960, et compléments, 1964)



LEGENDE

HUMIDE

Etage bioclimatique méditerranéen

Limite de l'étage (l'étage méditerranéen de haute montagne et l'étage méditerranéen perhumide n'ont pas été délimités)

Sous étage bioclimatique méditerranéen

Station météorologique

Situation des localités :

Esiquette et Sète (sémaphore)

sur le Climagramme pluviothermique de (Q) EMBERGER

Nous avons réuni les données météorologiques à partir de l'année 1956, couvrant ainsi dix années biologiques. Le tableau N° 3 résume les précipitations saisonnières et le régime pluviométrique de ces dix années. La moyenne de précipitation annuelle a été au cours de cette période de 649,9 mm, le maximum de précipitation annuelle pour la période de notre étude a atteint 1 068,9 mm (1962-1963) et le minimum n'était que de 389,2 en 1960-1961.

Le régime pluviométrique moyen (moyennes de précipitations saisonnières rangées dans l'ordre décroissant) est de type A.P.H.E.

L'étude du tableau N° 3 montre que le régime pluviométrique varie d'une année à l'autre, et que deux années sur ces dix ans considérés ont eu un climat non méditerranéen : l'année biologique 1956-57 a eu des précipitations concentrées sur l'été, et un indice d'aridité estivale supérieur à 7; elle a ainsi été une année de climat continental.

Cette tendance vers le climat non méditerranéen est relativement moins accentuée pour l'année 1957-1958; son régime pluviométrique a été encore du type continental, mais la valeur de l'indice d'aridité estivale n'a pas dépassé la limite 7.

Les huit dernières années sont marquées par un climat méditerranéen typique aussi bien par la pluviosité que par l'indice : une vue d'ensemble sur ces données permet de conclure que le climat de cette région est du type méditerranéen de transition, caractérisé par un régime pluviométrique de type A.P.H.E. (régime moyen et saisons rangées dans l'ordre décroissant de la pluviosité), et la valeur de l'indice d'aridité estivale égal à 4,24 (indice calculé sur les moyennes de dix ans).

Le type du régime pluviométrique (A.P.H.E.) et la valeur < 7 de l'indice d'aridité estivale indiquent que la tendance du climat vers le type de transition est encore faible, car, dans le climat de transition, au sens exact du terme, le régime pluviométrique moyen ne possède plus la forme typique

Tableau N° 3

Année biologique	A	H	P	E	Total annuel	Régime pluviométrique	I a e	Climat du type
56 - 57	120,0	<u>54,6</u>	208,4	248,4	631,4	E.P.A.H.	9,92	continental
57 - 58	98,1	148,5	<u>85,3</u>	165,6	497,5	E.H.A.P.	6,73	de transition
58 - 59	107,6	134,6	164,6	<u>101,4</u>	508,2	P.H.A.E.	3,84	méditerranéen
59 - 60	219,1	<u>95,8</u>	157,8	129,1	601,8	A.P.E.H.	5,09	"
60 - 61	115,3	104,7	119,1	<u>50,1</u>	389,2	P.A.H.E.	1,93	"
61 - 62	206,1	136,5	165,9	<u>13,6</u>	522,4	A.P.H.E.	0,51	"
62 - 63	516,8	294,3	<u>118,4</u>	139,4	1068,9	A.H.E.P.	5,71	"
63 - 64	256,1	270,4	226,0	<u>86,5</u>	839,0	H.A.P.E.	3,31	"
64 - 65	357,3	177,1	59,1	<u>38,0</u>	631,5	A.H.P.E.	1,55	"
65 - 66	440,8	110,3	155,2	<u>102,8</u>	809,1	A.P.H.E.	4,16	"

Moyenne des précipitations annuelles = 649,9 mm

Moyenne des précipitations saisonnières

Saisons :	A	P	H	E
Pluviosité :	243,72	152,68	145,78	<u>107,49</u>

Régime moyen A.P.H.E.

Moyenne d' I a e = 4,24

Tableau N° 4

Année biologique	Valeur de m	Mois	Valeur de M	Mois	Q = valeur annuelle
56 - 57	3,9	janvier	27,1	juillet	94,26
57 - 58	4,1	décembre	26,0	août	78,80
58 - 59	4,5	juillet	28,6	juillet	72,77
59 - 60	"	"	26,2	"	96,11
60 - 61	3,6	décembre	26,4	"	59,23
61 - 62	4,5	février	27,9	août	77,14
62 - 63	0,9	juillet	27,1	juillet	142,05
63 - 64	3,2	"	27,7	"	118,63
64 - 65	2	février	25,1	août	95,33
65 - 66	4,3	janvier	25,5	juillet	132,47

Moyenne des m^- = + 3,55

" " M^- = 26,76

Q pour 10 ans = 96,679

méditerranéenne, et, en fait, la dépression des courbes des années méditerranéennes est comblée par l'excès de précipitation estivale dans les années non méditerranéennes. Le fait que cette dépression méditerranéenne persiste toujours (l'été, à la fin, dans le régime pluviométrique) prouve que dans le cas de notre station, la tendance vers le climat de transition est encore très peu accentuée.

Dans le tableau N° 4 nous avons donné les valeurs de températures maximales et minimales et le quotient Q d'EMBERGER pour chaque année.

Le climat de la région est caractérisé par la valeur de $Q = 97,10$ (calculé d'après les moyennes des dix ans) et $m = +3,55$.

Ces données permettent de situer le climat étudié dans le climagramme pluviothermique (voir Figure N° 2). Ainsi, on constate que cette région a un climat méditerranéen (de transition) subhumide, à hiver tempéré.

Nous avons refait les calculs des valeurs représentatives du climat de cette région pour les données des huit dernières années, afin de pouvoir comparer exactement le climat de l'Espiguette avec celui de ces deux autres localités.

Le climat de ces huit années pourrait être caractérisé par les valeurs suivantes :

P	$=$	671,26 mm	précipitation annuelle en moyenne
Q	$=$	99,57	
m	$=$	3,43	
M	$=$	26,81	
I_{ae}	$=$	3,26	

Le régime pluviométrique moyen reste toujours A.P.H.E.

CONCLUSION

Notre étude climatologique permet de comparer le climat de notre première station de l'Espiguette avec celui des deux autres, abstraction faite des différences qui existent entre nos stations de recherche et la localisation des stations météorologiques de leur voisinage.

La comparaison permet de tirer les conclusions suivantes pour les huit années sur lesquelles ont porté nos calculs, les climats de ces deux localités ⁽¹⁾ sont classés dans la classe méditerranéenne subhumide (de transition), celui de l'Espiguette dans la sous-classe du subhumide à hiver frais et le climat de Sète dans la sous-classe à hiver tempéré.

La région de l'Espiguette est relativement plus sèche que la région de Sète avec 581,7 mm de pluviosité annuelle contre 671,2 mm à Sète.

Egalement, l'aridité estivale pour le nombre d'années d'observation est plus accentuée à l'Espiguette que dans les deux autres stations. Cela se traduit par la différence des valeurs de l'indice d'aridité estivale, elle est de 3,26 pour Sète et de 2,61 seulement pour l'Espiguette. Cette différence est due au fait que la précipitation estivale à Sète est supérieure à celle de l'Espiguette, et également la valeur de M est moins grande à Sète qu'à l'Espiguette (26,81 à Sète contre 27,96 à l'Espiguette).

L'ensemble de ces différences se traduit au sein des valeurs Q . Le climat de Sète avec $Q = 97,5$ serait classé dans la partie supérieure de la classe subhumide, alors que celui de l'Espiguette avec $Q = 76,6$ se situerait dans la partie moyenne de la même classe.

En conclusion, on constate qu'il y a des nuances entre les climats de nos stations. Certes, ces différences peuvent créer des variations dans l'écologie

(1) Espiguette et Sète-Sémaphore.

des milieux et doivent se traduire par des modifications au sein de la végétation.

Cependant, dans le cas de notre étude, spécialement orientée sur l'appareil radiculaire, il ne semble pas que l'on puisse attacher une grande importance à ces différences, car dans les sols salés, l'écologie est dominée par l'intervention des sels d'autant plus que les différences climatiques sont faibles.

L'influence des facteurs édaphiques, qui déterminent la modalité de l'intervention du sel, prennent une importance de tout premier plan, ce que nous allons étudier de plus près dans les prochains chapitres.

Au cours de la description générale de nos stations, nous avons pu constater que l'écologie de ces localités, tout en restant dominée par la présence du sel, est plus ou moins profondément influencée par d'autres facteurs. Nous verrons que l'influence de ces facteurs détermine la modalité de l'intervention du sel et modifie le comportement et la physionomie de la végétation.

DEUXIÈME PARTIE

STATIONS ÉTUDIÉES

CHAPITRE I

L'ESPIGUETTE

GÉNÉRALITÉS SUR LA VÉGÉTATION

L'Espiguette est une station typique de sansouires sableuses. La végétation très ouverte et clairsemée est composée essentiellement de deux espèces d'Arthrocnemum.

A. glaucum (Del.) Ung. Sternb.

A. fruticosum (L.) Moq.

Ces plantes se présentent sous forme de touffes très distantes les unes des autres.

Limonium vulgare Mill., autre espèce vivace, se rencontre rarement dans cette station. Durant huit mois de l'année, les espèces citées sont seules à occuper cette station, mais pendant la saison humide et favorable (de mars à juin), certaines espèces annuelles apparaissent çà et là, finissant leur cycle à la fin du printemps.

Ces espèces annuelles poussent dans les endroits où la salure est relativement moins accentuée, c'est-à-dire dans les parties légèrement surélevées

et notamment au milieu des vieilles touffes d' Arthrocnemum glaucum.

La liste des espèces annuelles rencontrées dans cette station est la suivante :

Scleropoa maritima (L.) Parl.

Koeleria pubescens (Lam.) P.B.

Matthiola sinuata (L.) R. Br.

Frankenia pulverulenta L.

Cette dernière apparaît tardivement, à la fin de mars ou début avril, et accomplit son cycle jusqu'à la mi-août. A l'encontre de la végétation phanérogame morcelée, la végétation cryptogamique est continue, formée d'une mince couche de Cyanophycées⁽¹⁾ et couvrant toute la surface du sol de la station en une croûte noirâtre, d'où l'aspect sombre de celle-ci.

Les phytosociologues attribuent une grande importance à cette flore cryptogamique (BRAUN - BLANQUET, 1953).

Les individus végétaux étudiés dans cette station étant très distants les uns des autres, les effets du voisinage, et surtout de la concurrence interspécifique ne s'y manifestent pas. L'étude de leur comportement en ce lieu ressort plutôt à l'autoécologie qu'à la synécologie. Cette circonstance facilite dans une grande mesure l'application des techniques de figuration des racines, car l'on est certain que les racines existant au voisinage de chaque touffe appartiennent à un seul individu. On peut ainsi suivre facilement l'extension du système racinaire.

(1) *Lyngbya aestuarii*. Liebm. et *Microcoleus chthonoplastes*. Thur.

ARTHROCNUM GLAUCUM
ET SON ENRACINEMENT A L'ESPIQUETTE

A. glaucum se présente dans cette station sous l'aspect de touffes dressées, aérées et peu denses, espacées.

Leur hauteur varie de 30 à 45 cm; leur diamètre est compris entre 40 et 120 cm, le plus souvent de l'ordre de 50 cm.

Le système racinaire des individus jeunes consiste en une racine primaire et pivotante dont la longueur est de l'ordre de 18 - 23 cm. Les étapes ultérieures du développement des racines sont toujours marquées par une extension latérale; ces racines secondaires se détachent de la racine primaire en formant très souvent avec celle-ci un angle droit, puis s'orientant horizontalement dans des plans plus ou moins parallèles à la surface du sol.

La longueur des racines secondaires de premier ordre est souvent supérieure à 180 cm. Chez les individus adultes ayant sans doute accompli un développement optimal, leur longueur dépasse assez souvent 400 cm. La plus longue racine que nous ayons observée mesurait 730 cm. Ces racines longues sont toujours localisées dans la couche de 0 - 30 cm du profil.

Le caractère le plus remarquable de ces longues racines est leur pauvreté en ramifications. Celles-ci s'orientent suivant deux directions privilégiées horizontale et verticale. Les ramifications horizontales sont, en général, bien développées, mais celles qui s'orientent verticalement s'arrêtent aux environs de 25 - 30 cm de profondeur; parfois elles s'incurvent pour reprendre elles aussi une direction horizontale.

Lorsque le développement d'A. glaucum à l'Espiguette est au stade optimal, le système racinaire de l'individu s'étend autour de lui, en formant un cercle de 6 m de diamètre, couvrant ainsi une surface égale à 30 m² environ.



A. glaucum (plante jeune)
à l'Espiguette



A. glaucum à l'Espiguette
(la règle servant d'échelle mesure 10cm)

350 cm

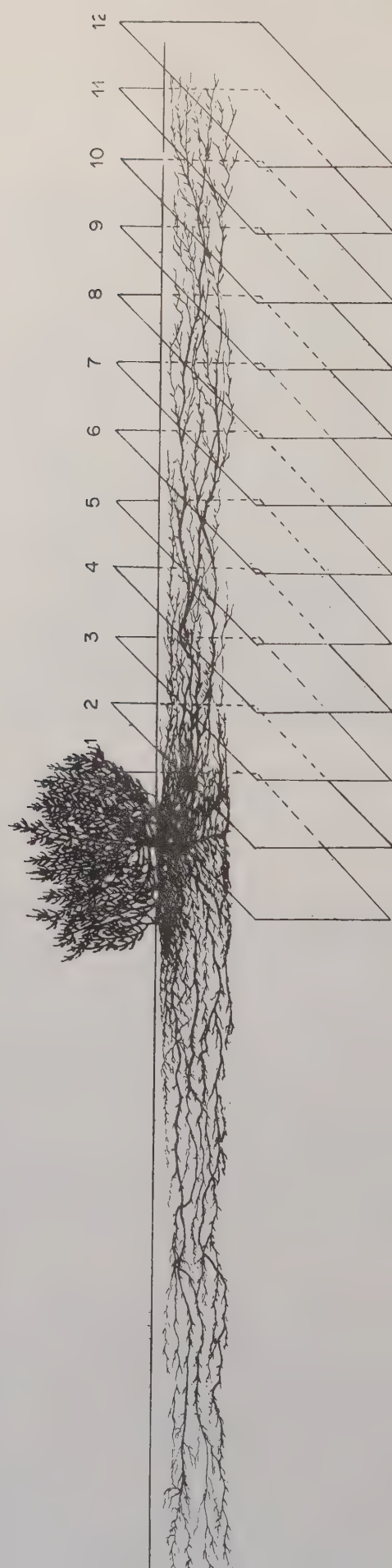


Planche 2 - *A. glaucum* et son enracinement à l'Espiguette

L'étude du système racinaire d'un grand nombre d'individus a montré que la répartition des racines a lieu d'une manière sensiblement égale dans toutes les directions. De plus, les tiges d'A. glaucum, qui sont appliquées à la surface du sol, émettent des racines adventives. Cependant dans la station considérée de l'Espiguette, l'apparition des racines adventives est considérablement retardée, et les échantillons ont peu de racines adventives.

La distribution des racines adventives dans le sol est identique à celle des ramifications de la racine primaire. Les caractères morphologiques, tels que le type de la ramification et la pauvreté en radicelles sont communs aux racines secondaires et aux racines adventives. Mais, les racines adventives sont nettement moins longues que les autres; elles ne dépassent pas, en général 100 - 150 cm.

Bien que nos méthodes d'études ne nous aient pas permis de définir la part de chaque type des racines dans l'ensemble, on peut évaluer ⁽¹⁾ les racines adventives chez les individus de cette station à 10 - 15 % du total de l'appareil racinaire formé (% en poids). Le choix des individus destinés à l'étude de l'enracinement s'est effectué de la façon suivante.

Nous avons repéré et numéroté 20 individus estimés être à un stade de développement moyen représentatif de la majorité des individus vivant dans cette station, puis nous avons appliqué nos méthodes de représentation des racines, à trois d'entre eux tirés au sort.

Pour le repérage des racines sur les profils verticaux, nous avons pratiqué dans le sol des tranches de 50 x 80 cm, 50 cm en profondeur et 80 cm en longueur à 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270 et 300 cm du pied de la plante. (Planche 2) ⁽²⁾ La position des racines sur cette coupe a été schématisée.

(1) Estimation à vue.

(2) En fait, pour l'exécution de ces tranches, il est évidemment plus commode de commencer par la plus éloignée du pied étudié.

La figure N° **3** (a, b) représente la position des racines observées dans les tranches à 0, 60, 120, 180, 240 et 300 cm du collet de la plante. Un signe différent a été choisi pour chacun des trois individus étudiés. Cette figure montre que les racines se situent toujours, quelle que soit leur longueur, entre 0 et 30 cm de profondeur du sol; à 30 cm du pied de la plante, la localisation des racines est encore plus étroite : le système radicaire se situe entre 5 cm et 30 cm de profondeur. On remarque également qu'au-delà de 25 cm de profondeur, les racines sont extrêmement rares.

Au cœur de la touffe, les racines se répartissent de la même façon : leur localisation dans les couches superficielles est tout à fait nette.

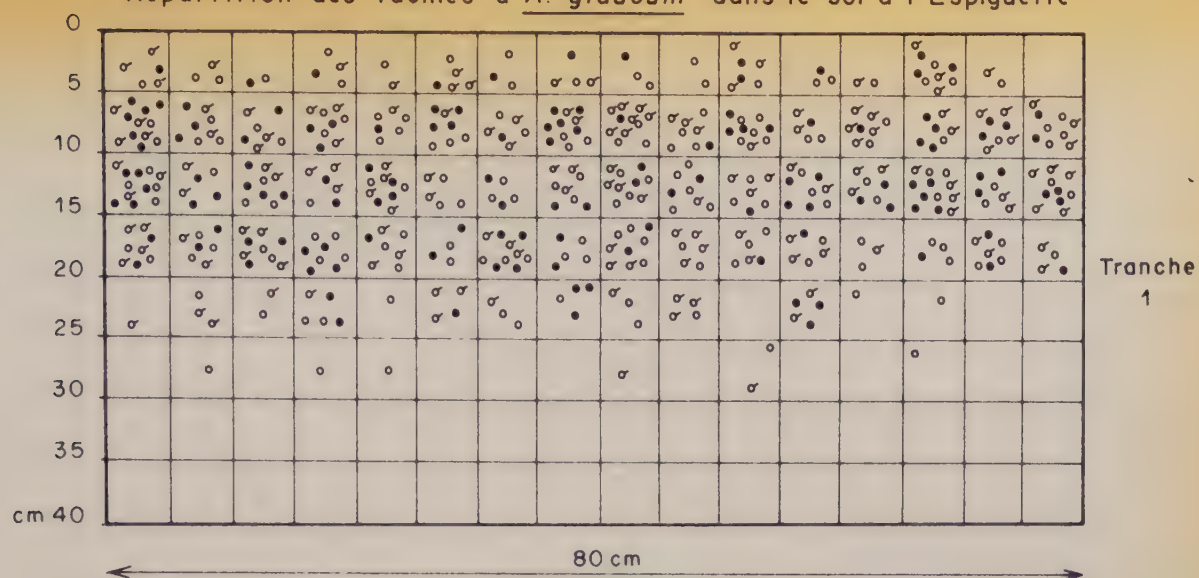
Signalons que les exceptions à ces observations sont rares. Nous avons rarement trouvé des radicelles pénétrant jusqu'à 35 - 40 cm de profondeur.

Après avoir constaté la localisation des racines telle qu'elle est illustrée sur la figure N° **3** nous avons essayé de représenter leur dispersion quantitative dans les différentes parties de la rhizosphère. Dans ce but, nous avons tracé des cercles concentriques autour du centre de la touffe d'A. glaucum. Le cercle intérieur ayant 30 cm de diamètre, les suivants sont espacés les uns des autres de 30 cm. Dans les cas des individus étudiés, la surface des deux premiers cercles est couverte par la touffe elle-même.

A l'intérieur de chaque cercle, nous avons prélevé dix échantillons (sauf dans le premier cercle où l'on a prélevé seulement quatre à cause de la surface utilisable). Chaque échantillon consiste en un cylindre de sol de 6,6 cm de diamètre et de 30 cm de hauteur. A partir de cet échantillonnage, nous avons calculé le poids de racines qui se trouvent dans une surface de $1\,000\text{ cm}^2$ de chaque cercle délimité.

Les histogrammes de la figure N° **4** représentent ces données pour les trois individus étudiés. On remarque, d'après cette figure, que la densité de racines varie profondément du centre de la touffe à l'extérieur, elle est

Répartition des racines d'*A. glaucum* dans le sol à l'Espiguette



○ Racines de l'individu N° 1
● // N° 2
σ // N° 3

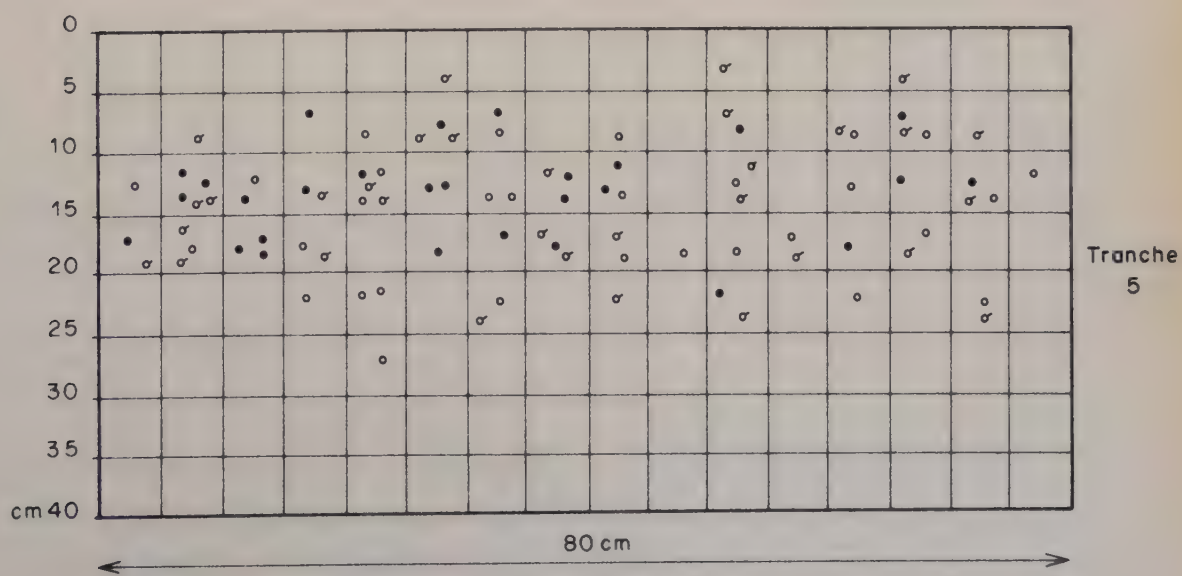
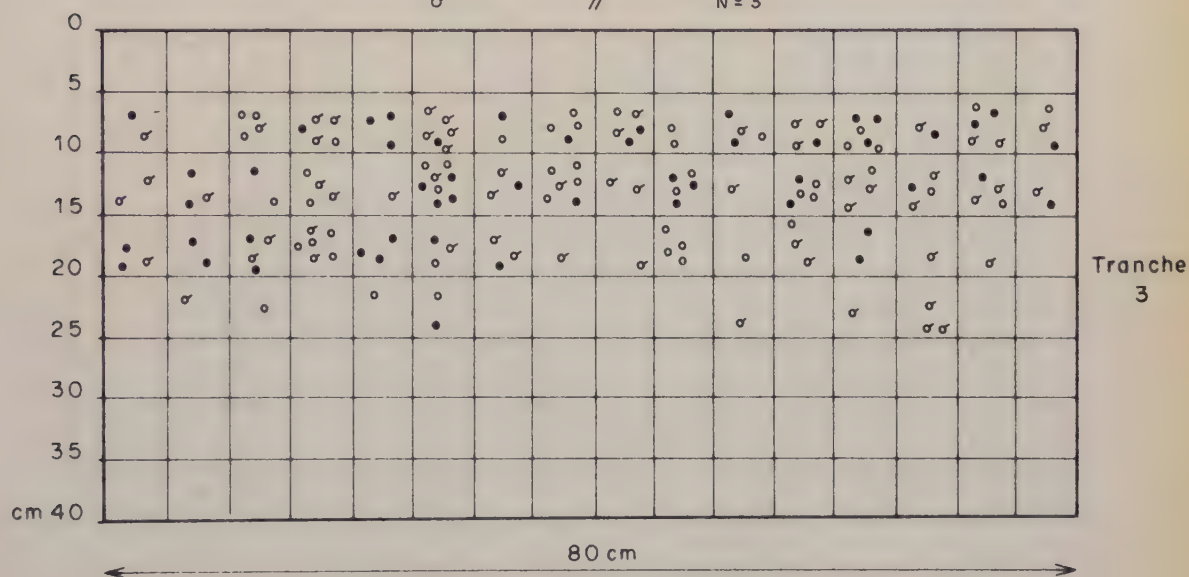


Fig. 3, a

Répartition des racines d'*A. glaucum* dans le sol à l'Espiguette

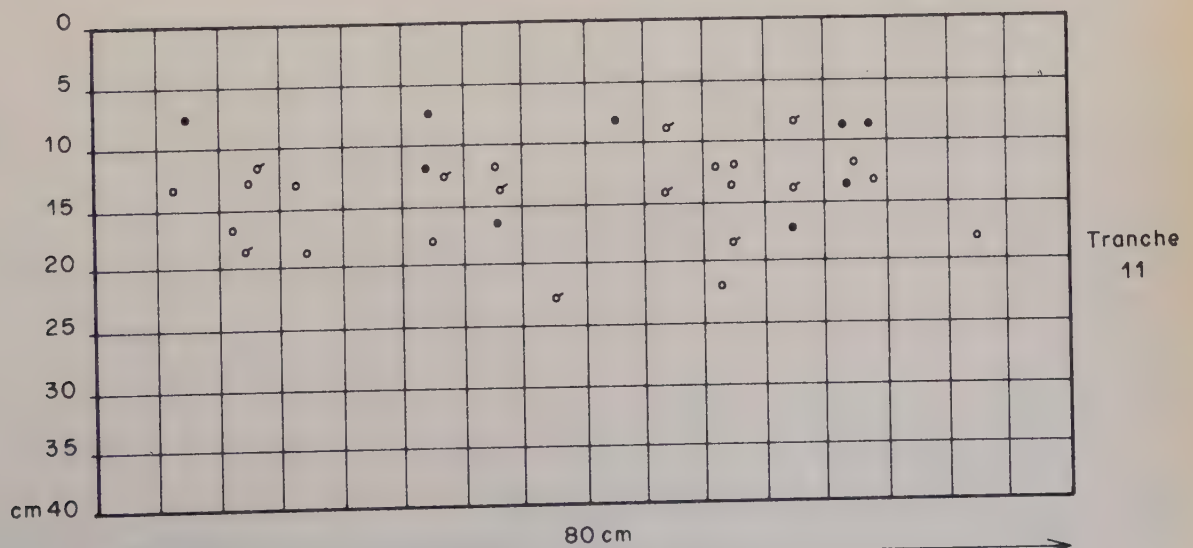
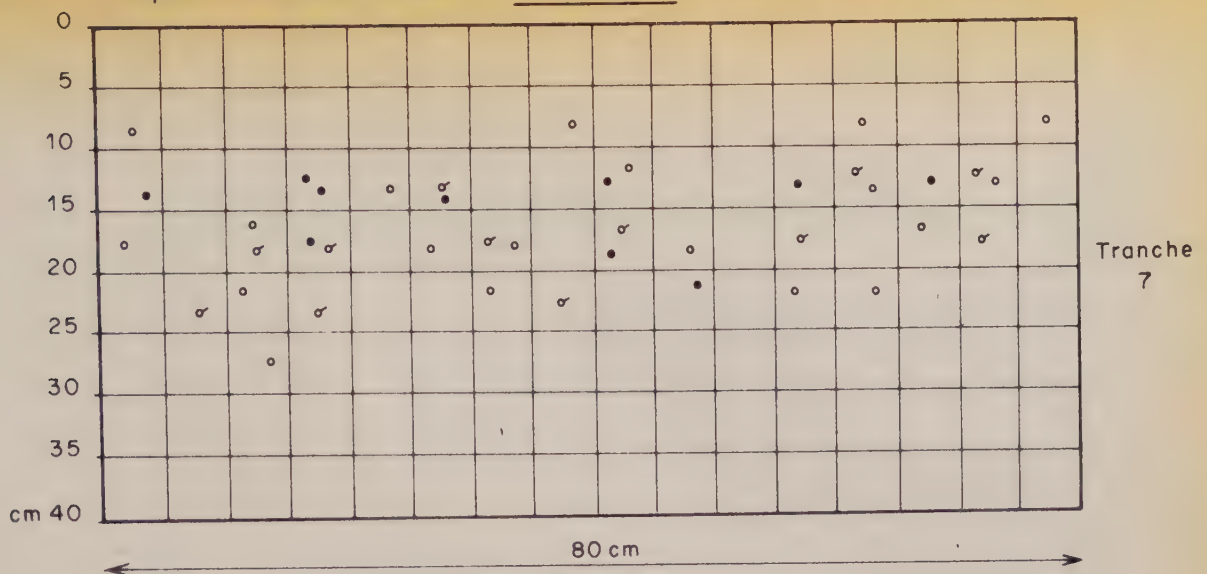
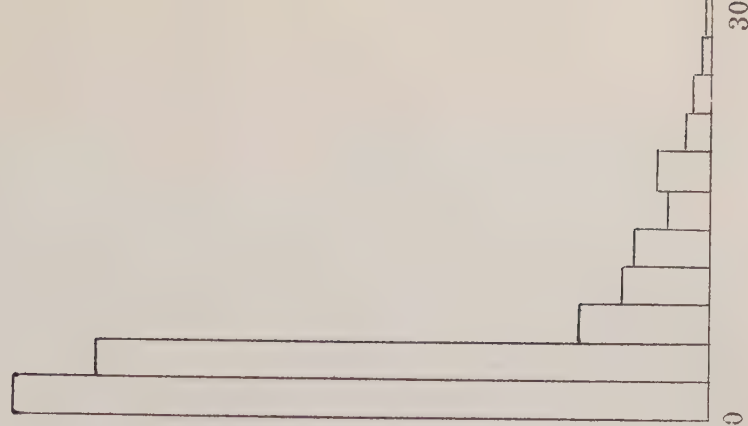
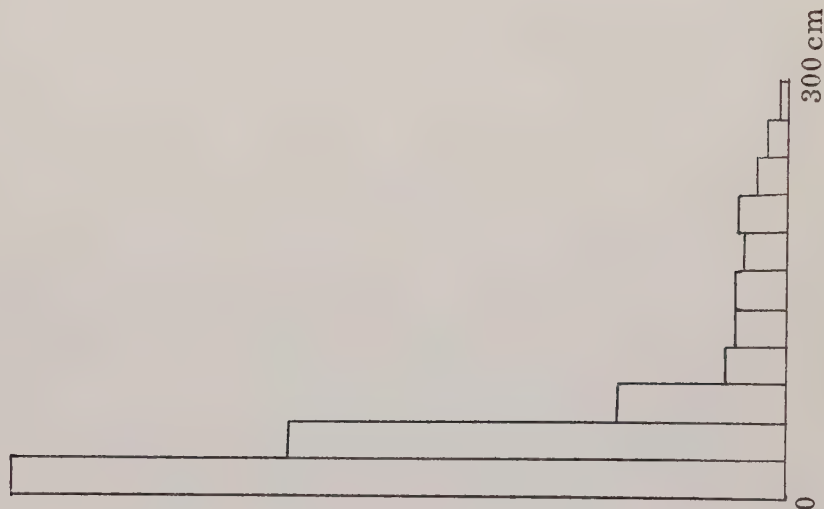


Fig. 3, b

Poids de racines
contenues sous une surface de
1 000 cm²

Fig. 4 - Variations de la densité de racines en fonction
de la distance du centre de la touffe.
(Chez les trois individus étudiés)



Distance du centre

200 fois plus élevée au centre que dans la partie la plus extérieure. Malgré cette énorme différence de la quantité des racines, la localisation de celles-ci est la même dans les deux cas, à savoir de 0 à 30 cm de profondeur.

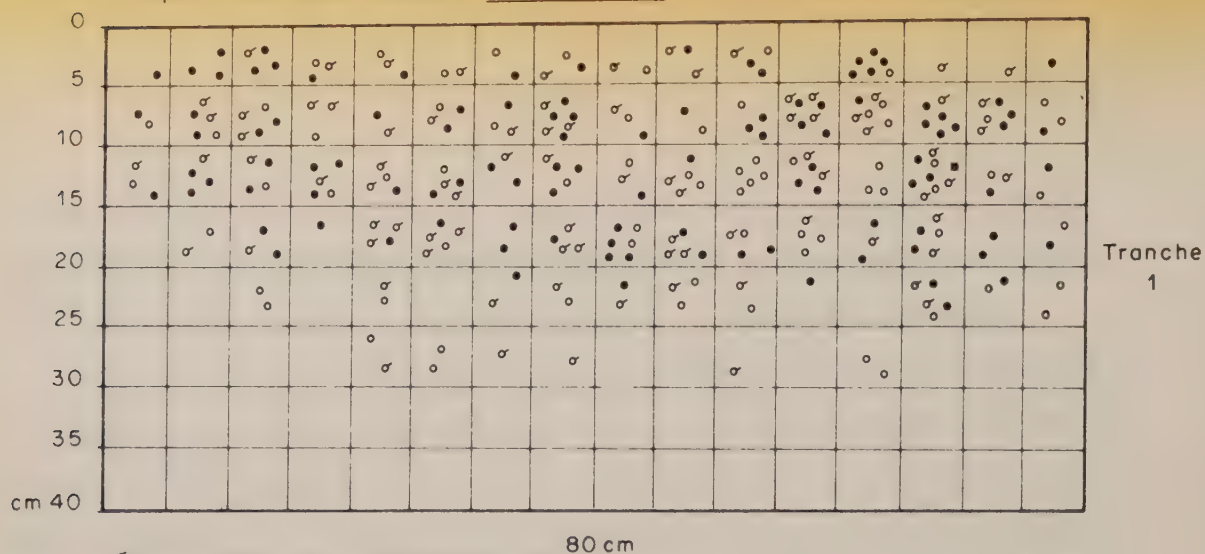
Cela nous conduit à penser qu'un facteur inhibiteur limite la pénétration des racines dans les couches inférieures, ce qui est aussi suggéré par l'étude du cours du développement des racines; à partir d'une racine primaire pivotante l'extension des racines se fait toujours latéralement, jamais verticalement.

Ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, la concurrence inter-individus n'existe pas dans cette station, les pieds étant très distants les uns des autres. Par contre, la concurrence joue entre les racines d'un même individu : on observe couramment dans les vieilles touffes d'A. glaucum que la partie centrale en souffre et finit même par mourir et disparaître, d'où l'apparition d'un petit espace vide au centre de la touffe. Cet espace vide est rempli par des apports éoliens d'où la silhouette caractéristique des vieux pieds d'A. glaucum et la présence dans le centre, surtout au printemps, d'espèces annuelles dont la liste a été déjà donnée plus haut. (Page 53)

ARTHROCNEMUM FRUTICOSUM ET SON ENRACINEMENT A L'ESPIQUETTE

Dans les sansouires de l'Espiguette, A. fruticosum forme des petites touffes lâches, aérées, dont la hauteur est 30 à 45 cm et le diamètre de 30 à 60 cm.

Répartition des racines d'*A. fruticosum* dans le sol à l'Espiguette



○ Racines de l'individu N° 1
● // N° 2
σ // N° 3

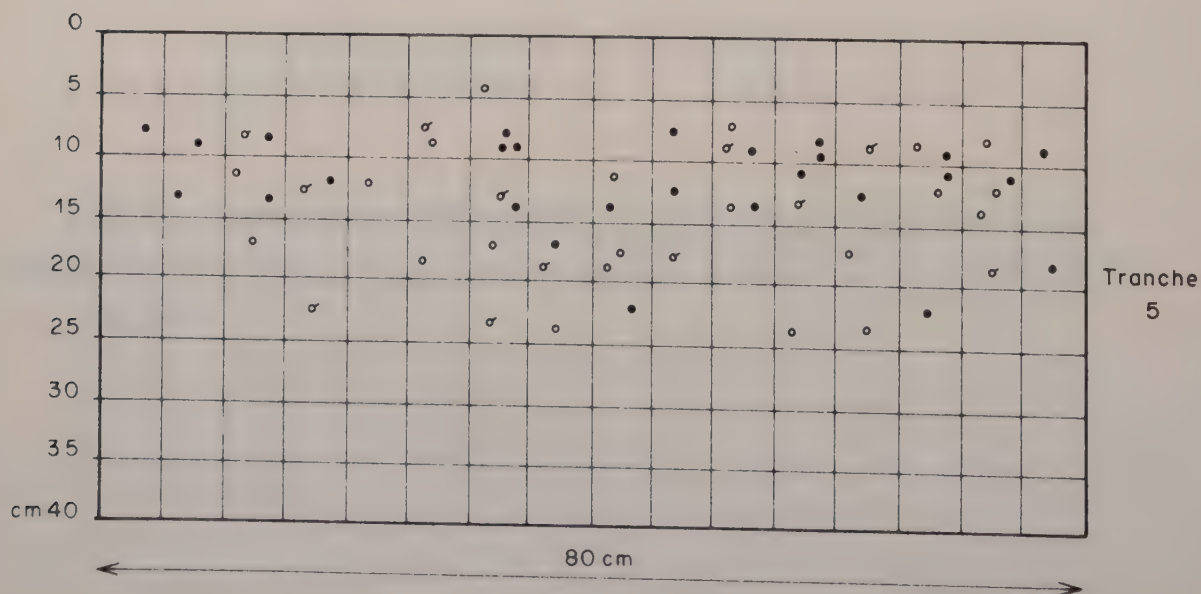
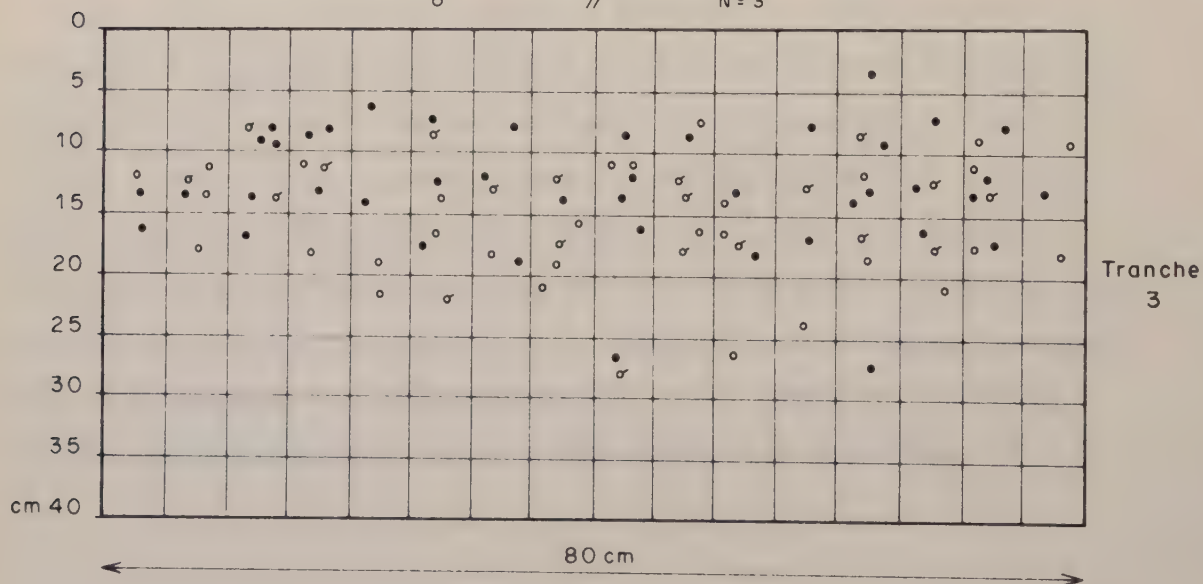


Fig. 5

Le comportement de l'appareil racinaire de cette espèce a beaucoup de similitude avec celui des racines d'A. glaucum dans cet endroit. Les individus jeunes possèdent une racine primaire pivotante longue de 20 - 25 cm en général.

Au cours du développement de la plante, on voit apparaître des racines secondaires qui prennent naissance à angle droit sur la racine primaire pivotante. Leur longueur est souvent supérieure à 1,50 m, et on trouve souvent des racines mesurant 2,5 à 3 m. Les racines d'A. fruticosum sont toujours sensiblement moins longues que celles d'A. glaucum. (Page 54)

Le système racinaire des touffes adultes d'A. fruticosum s'étend sur un cercle dont le diamètre est de 4 m environ et recouvre ainsi une surface approximativement de 12 m².

La répartition du système racinaire de cette espèce est très semblable à celle des racines d'A. glaucum. Les racines s'étendent toujours entre 0 et 30 cm de profondeur au centre de touffes, entre 5 et 30 cm à la périphérie.

Dans la station de l'Espiguette, les racines adventives des Arthrocnemum se forment plus tard que dans les autres stations où le sol est de texture fine. La longueur de ces racines est de 60 - 100 cm.

Nous avons évalué le pourcentage de ces racines, dans l'ensemble du système racinaire, à 8 à 12 %.

Le système racinaire d'A. fruticosum à l'Espiguette est caractérisé par la rareté relative des racines fines et radicelles.

Pour illustrer la position des racines sur le profil, nous avons fait des tranchées à 0, 30, 60, 90, 120 et 150 cm du centre de la touffe.

Trois individus ont été étudiés. Le choix avait été fait par tirage au sort, comme pour A. glaucum. (Page 55)

La figure N° 5 représente la répartition, dans le profil des racines, des trois individus dans les tranchées faites à 0, 60 et 120 cm de la touffe.

Trois signes différents ont été choisis pour trois individus étudiés. On y constate que, quelle que soit la distance de la touffe et la densité des racines, la localisation en surface est parfaitement nette. La figure N° 6 indique les variations de la densité de racines suivant la distance du centre.

La méthode employée a été décrite lors de l'étude des racines d'A. glaucum. Les racines d'A. fruticosum étant moins étendues que celles d'A. glaucum, le nombre de cercles entourant la touffe est peu élevé (6 contre 11). Cette étude révèle que la densité des racines au centre de la touffe est en moyenne 180 fois plus élevés que dans le cercle extérieur. Mais, malgré une densité différente, la stratification des racines est toujours la même.

La plupart des touffes de cette espèce sont isolées les unes des autres, mais nous avons observé dans quelques parties de la station des touffes groupées.

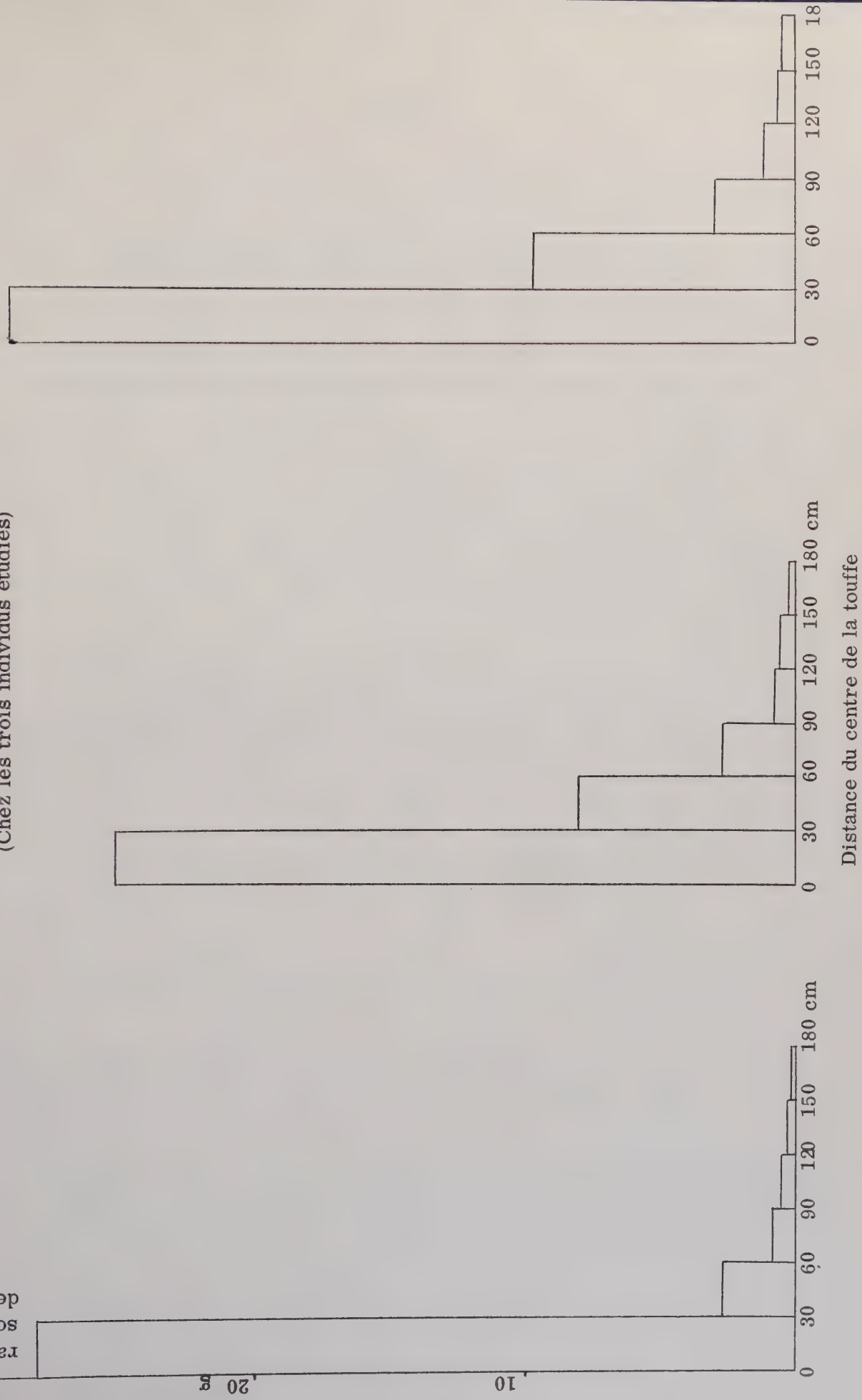
L'étude de l'enracinement des groupes d'individus nous a permis de constater que, malgré la présence des effets du voisinage, la localisation des systèmes radiculaires dans les horizons superficiels est toujours stricte.

Ainsi, quant à la stratification des racines, on constate que celle-ci est identique chez les deux espèces d'Arthrocnemum.

A l'étude des racines des deux espèces, nous avons joint l'observation de la forme et de la répartition des racines des espèces annuelles qui apparaissent dans ce lieu. Nous avons constaté que leurs systèmes radiculaires sont en général répartis dans les premiers 15 - 20 cm du profil, sans que l'extension horizontale soit remarquable.

Poids
racines conten
sous une surfac
de 1 000 cm²

Fig. 6 - Variations de la densité de racines en fonction
de la distance du centre de la touffe.
(Chez les trois individus étudiés)



DESCRIPTION DU PROFIL PÉDOLOGIQUE

Le sol de cette station trouve son origine dans les alluvions sableuses récentes et son évolution est conditionnée par deux des facteurs importants de la pédogénèse : le sel et la nappe phréatique.

Mis à part les caractères de l'halomorphie, le sol est brut et peu évolué.

Notre critère de la distinction des horizons est essentiellement basé sur les trois caractères suivants : position des racines, répartition du sel et également les traces d'hydromorphie. Ainsi, nous avons distingué les horizons suivants :

1° 0 à 4 cm : horizon de couleur "brun grisâtre très sombre", (2,5 Y 3/2), noirâtre en surface, à cause de la présence de la croûte de Cyanophycées. Très riche en sel pendant les saisons sèches et relativement dessalé pendant l'automne et l'hiver. Très peu de racines. La couleur de cet horizon varie en surface suivant les saisons, en fonction des déplacements du sel sous l'influence de la sécheresse ou, inversement, sous l'influence d'un lessivage dû aux fortes pluies.

L'effervescence à ClH est forte et brève.

2° 4 à 20 cm : couleur "gris olive" (5 Y 4/2)
- racines et radicelles très abondantes, pas de trace d'hydromorphie;
- effervescence à ClH forte et brève.

3° 20 à 35 cm : couleur "olive" (5 Y 4/3)
- racines et radicelles très rares, présentes uniquement dans la partie supérieure;

- des taches d'hydromorphie se rencontrent dans cet horizon à partir de 20 cm de profondeur. Elles sont de dimension de 1 - 1,5 cm de diamètre et de couleur jaune brunâtre (10 YR 6/4).

Au fur et à mesure que l'on descend, la taille des taches d'hydromorphie grandit et leur fréquence augmente.

De 33 à 36 cm de profondeur, ces taches forment partiellement une couche continue.

- L'effervescence à ClH est forte et brève.

4° 35 à 50 cm : couleur "gris olive" (5 Y 4/2);

- des taches d'hydromorphie de couleur jaune brunâtre (10 YR 6/4)
- effervescence à ClH forte et brève.

A la base de cet horizon, on rencontre une couche de couleur noirâtre (2,5 Y 2/0), engorgée par la nappe salée, dont la profondeur maximale est de 65 cm en été. On peut assimiler cet horizon à un horizon de gley. Cette couche noirâtre parcourt le profil du sol suivant les mouvements de la nappe. Au mois de janvier, à la suite de la remontée de la nappe, cette couche noirâtre s'observe à 12 cm de la surface, ensuite elle descend, progressivement, jusqu'à 65 cm de profondeur en été.

Tenant compte des conceptions classiques de la pédologie pour la définition des horizons du profil, on peut décrire dans cette station un profil de type A, G, C.

L'horizon A comprend la couche de 0 à 20 cm de la surface, et le passage de l'horizon A à l'horizon G (gley) s'effectue très progressivement.

La répartition du sel dans l'ensemble du profil, la richesse accentuée de la surface en sels solubles et l'absence de l'horizon d'accumulation B,

nous permettent de classer le sol dans la sous-classe des solonchak (classe des sols halomorphes) de la classification française de G. AUBERT et Ph. DUCHAUFOR (1962). Il a la même place systématique dans la sous-classe de la classification russe.

Si, à la suite de NOVIKOFF (1965), nous tenons également compte des caractères hydromorphiques du sol, la présence d'un horizon de gley placera notre sol dans le groupe des "sols salés et hydromorphes à gley" de cet auteur.

Nous verrons ultérieurement que les valeurs du pH dans l'ensemble du profil sont de l'ordre de grandeur de 8. Il semble donc que les phénomènes d'alcalinisation n'influencent pas profondément les propriétés du sol.

● TEXTURE MINÉRALE FINE

Les résultats des analyses granulométriques des différents horizons du sol sont représentés dans le tableau N° 5 et la figure N° 7.⁽¹⁾

On remarque que la composition granulométrique générale du sol est nettement sableuse.

Dans l'ensemble du profil, parmi les différents types des sables, les fractions comprises entre 100 à 200 μ et 200 à 500 μ dominant nettement.

L'horizon superficiel de 0 à 4 cm est relativement plus riche en éléments fins, et sa texture traduit une tendance vers le type sablo-limoneux.

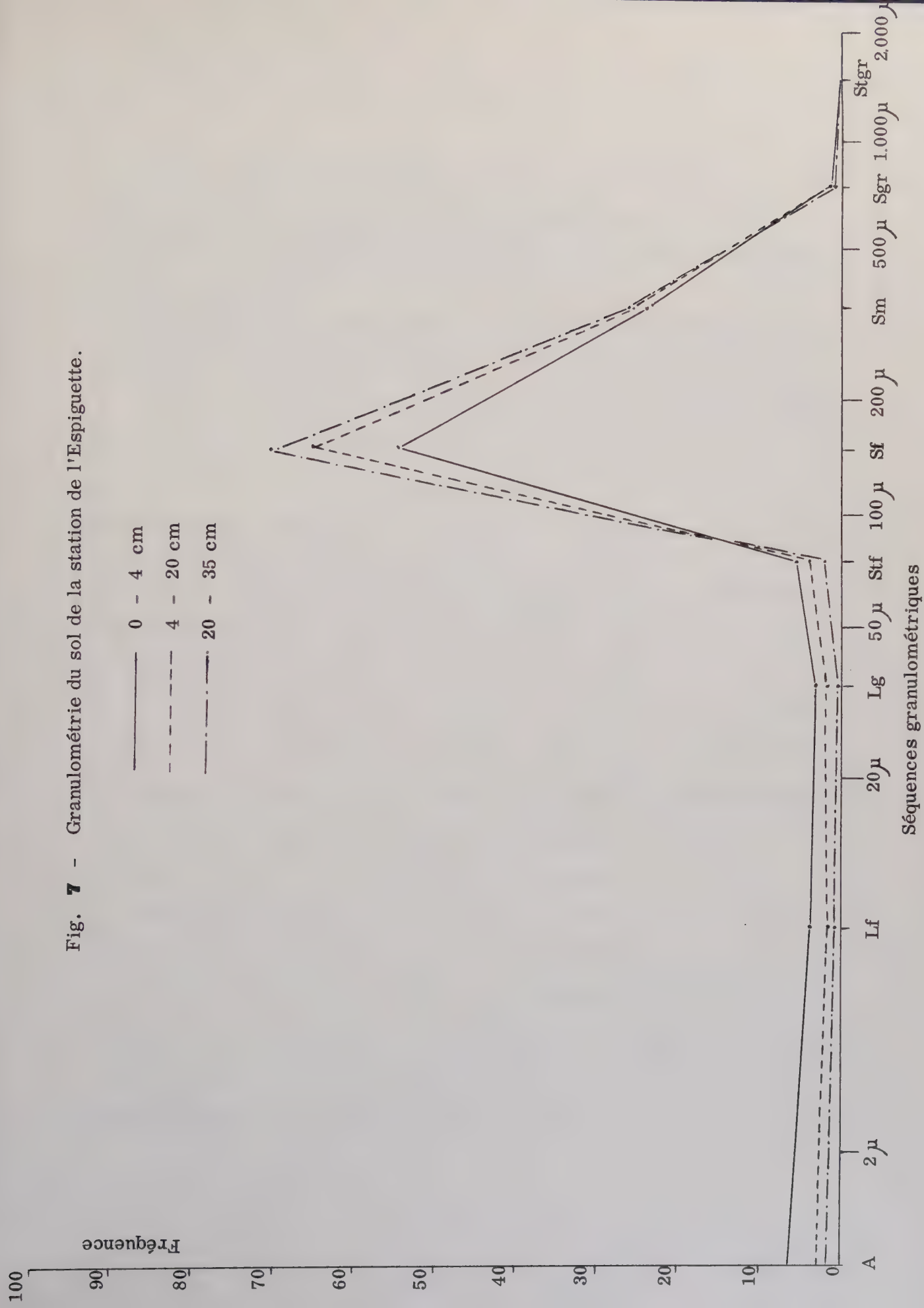
On notera aussi que le pourcentage de sable augmente en fonction de la profondeur, les horizons inférieurs étant moins riches en éléments fins.

Le sol est extrêmement pauvre en argile et en matière organique qui sont les matériaux favorables à la structuration. L'horizon le plus superficiel (0 à 4 cm) semble contenir une certaine quantité de matières organiques, mais, en fait, il s'agit de la croûte de Cyanophycées, qui constitue une

(1) Pour établir cette figure, nous avons utilisé la méthode préconisée par J.P. WACQUANT.

Fig. 7 - Granulométrie du sol de la station de l'Espiguette.

- 0 - 4 cm
- - - 4 - 20 cm
- . - 20 - 35 cm



matière organique vivante, non encore incorporée dans le sol.

L'étude de la texture montre que ses variations, le long du profil, sont minimales, le type de texture est pratiquement le même dans tous les horizons du sol.

La localisation des systèmes radiculaires dans les couches superficielles ne semble donc pas être en rapport avec les variations de la composition granulométrique du sol.

Tableau N° 5

Analyse granulométrique

Composants	Diamètre en μ	Profondeur		
		0 - 4	4 - 20	20 - 35 cm
		%	%	%
Argile	< 2	6,36	2,85	1,83
Limon fin	2 - 20	4,20	1,84	0,73
Limon grossier	20 - 50	3,47	1,35	0,53
Sable	sable 50 - 100	5,66	4,21	1,62
	- 100 - 200	54,24	64,75	69,05
	- 200 - 500	23,47	24,45	25,61
	- 500 - 1000	0,07	108	0,13
	1000 - 2000	0	0	0
		83,4	93,49	96,41
Matière organique	—	2,20	0,26	0,33
Type de texture	—	S1	S	S

● pH

L'étude de ce facteur est particulièrement importante dans le cas des sols salés, car il indique notamment les variations de l'état de saturation du complexe adsorbant.

Les mesures faites à l'Espiguette ont montré que les variations du pH en profondeur ne sont pas significatives.

Le tableau N° 6 indique les valeurs du pH relevées dans les différents horizons étudiés (valeurs observées au mois d'août 66).

Tableau N° 6
Variations du pH avec la profondeur

Profondeurs en cm	pH
0 - 4	7,9
4 - 20	7,8
20 - 35	7,9
35 - 50	7,85

Ces valeurs, comme nous l'avons constaté, ne subissent pas de variations importantes au cours de l'année.

● STRUCTURE

La structure du sol de la station de l'Espiguette est particulière meuble, elle résulte tout d'abord de la nature du sol, c'est-à-dire de sa richesse extrême en éléments grossiers (sable) et de l'absence quasi totale d'éléments fins (argiles et surtout matière organique) qui sont défavorables à la structuration du sol.

Nous avons étudié l'état structural de tous les horizons par la mesure de la densité apparente. La valeur de celle-ci, pour la couche la plus superficielle de sol, comprise entre 0 à 20 cm, est de l'ordre de 1,31.

Cet horizon est relativement mieux structuré que les couches inférieures, on y observe une ébauche de structuration mais il n'y a pas d'agrégats bien individualisés.

L'horizon sous-jacent compris entre 20 - 35 cm est plus compact que le premier, la densité apparente de cet horizon est en moyenne 1,45.

Au fur et à mesure que l'on descend en profondeur, la densité apparente du sol augmente, de sorte que la valeur de celle-ci, pour l'horizon inférieur compris entre 35 et 50 cm, est de l'ordre de 1,51.

On remarque facilement que l'augmentation en profondeur de la densité apparente, coïncide avec l'apparition et l'augmentation, en fréquence et en dimension, des taches d'hydromorphie, les couches inférieures sont de plus en plus marquées par des traces d'hydromorphie et la diminution du taux d'aération.

En admettant la valeur 2,6 g/ml (cf DUCHAUFOR, p. 41) pour la densité réelle du sol (valeur élevée à cause de sa pauvreté en matière organique), on obtiendra pour la porosité les valeurs suivantes.

Pour la couche de	0 à 20 cm,	50 %	(porosité totale)
" "	20 à 35 cm,	44 %	" "
" "	35 à 50 cm,	41 %	" "

Les chiffres indiqués sont les moyennes calculées à partir de 5 échantillons pour chaque horizon.

L'étude de la structure du sol permet de différencier les horizons supérieurs du profil, contenant les racines, des couches inférieures qui en sont dépourvues, par le fait que ces dernières sont plus compactes, donc moins

aérées, et de ce fait, moins favorables pour la vie des racines et leur développement. (Figure N° 8)

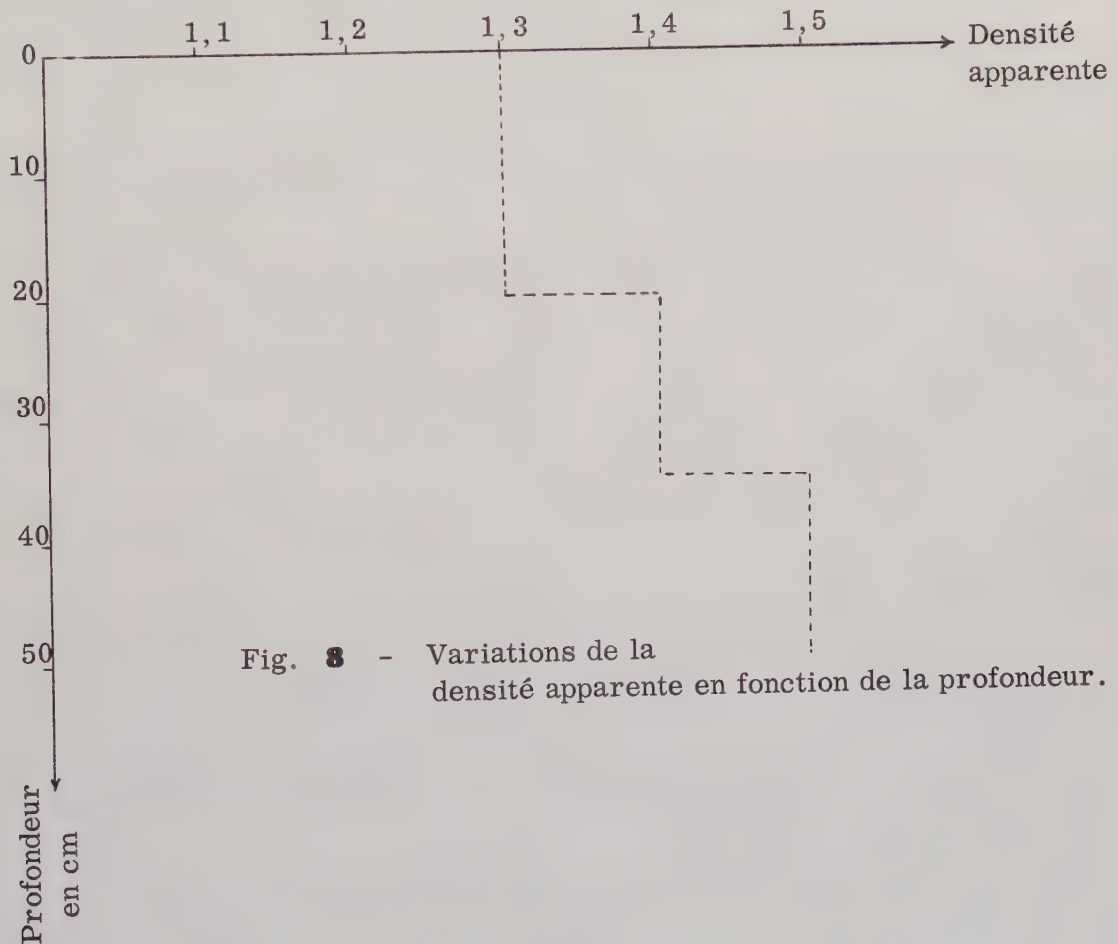


Fig. 8 - Variations de la densité apparente en fonction de la profondeur.

RÉGIME DES INONDATIONS

La station de l'Espiguette est soumise à l'influence directe de la mer. Au moment des grandes tempêtes, en automne, l'eau de mer envahit cette région. A cette époque, la station est totalement immergée par de l'eau salée. Ces submersions sont également provoquées et intensifiées par l'eau de pluie, mais cet apport d'eau douce dilue la salinité de l'eau d'inondation.

La hauteur des eaux de submersion et leur salinité sont variables, en fonction de l'ampleur des tempêtes et la hauteur des précipitations de la saison.

Nous avons noté la hauteur de l'eau de submersion, et analysé sa salinité. Le tableau N° 7 résume ces données.

Tableau N° 7

Mois	Hauteur de submersion en cm	Salinité totale g/l	Cl m.val. /l	Na m.val. /l	K m.val. /l	Na / K	Cl / Na
Novembre 65	10	23,45	345	—	—	—	—
Février 66	20	11,60	166	143	3,09	47,2	1,16
Octobre 66	6	31,92	473	408,7	7,92	51	1,16
Eau de mer	—	—	—	—	—	47	1,16

La station a été inondée au mois de novembre 1965; un mois après, en décembre, l'eau de submersion ne persistait plus que dans des petites dépressions, de sorte que le prélèvement des échantillons du sol et de la nappe a été possible.

En janvier, tous les effets de la submersion avaient disparu.

Une nouvelle inondation eut lieu en février, ce fut la dernière de l'année biologique 1965-1966. L'interruption dans les courbes des variations de la salinité et de l'humidité du sol est due à cette submersion.

Au mois d'octobre 1966, par suite de pluies orageuses et de tempêtes, la submersion s'est produite. On peut remarquer dans le tableau N° 7 que la salinité de l'eau de submersion est très variable, ce qui est dû au fait que l'eau d'inondation provient de deux sources différentes, de la mer et de la pluie, la salinité permet d'interpréter les proportions du mélange des deux eaux.

On remarquera aussi que, dans tous les cas, les valeurs des rapports Cl/Na et Na/K restent très proches de ceux de l'eau de mer.

HUMIDITÉ

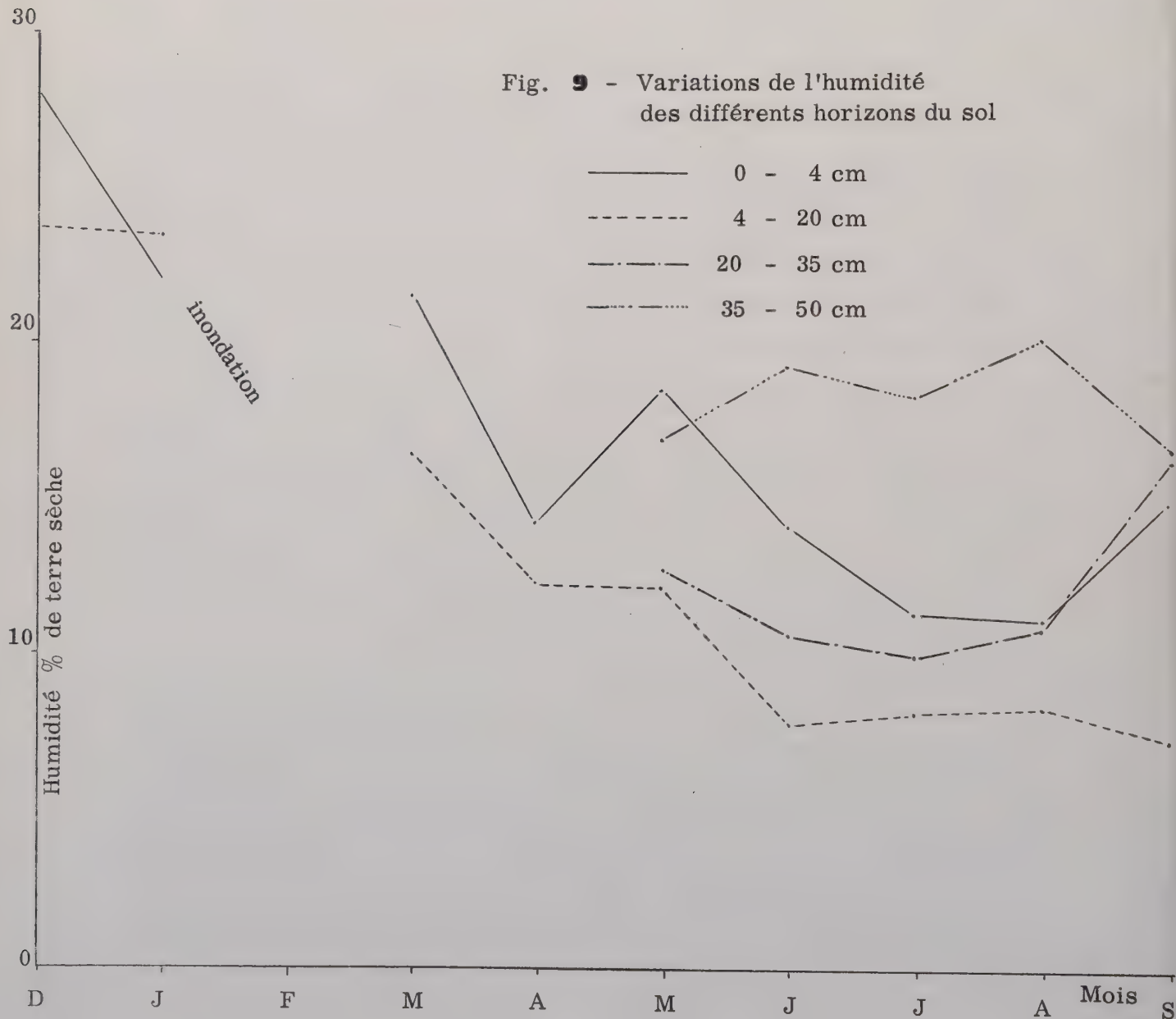
La teneur en eau des différents horizons du profil a été mesurée une fois par mois; les variations de l'humidité des quatre couches distinguées sont représentées sur la figure N° 9. On peut y remarquer que l'amplitude des variations de l'humidité est beaucoup plus grande pour la couche superficielle de 0 à 4 cm, que pour les autres horizons. La teneur en eau de cette couche a été, pendant une longue période de l'année, plus élevée que pour les deux horizons sous-jacents (4 - 20 cm et 20-35 cm), ce qui est dû d'une part à la texture du sol qui est relativement plus favorable à la rétention d'eau dans cet horizon, et d'autre part, au fait que la surface du sol est couverte par la croûte de Cyanophycées. En faisant abstraction de la couche la plus superficielle 0 à 4 cm (courbe n° 1), l'on observe, dans le reste du profil, une augmentation plus ou moins régulière de l'humidité en fonction de la profondeur, il existe donc un gradient croissant de la teneur en eau de la surface vers la profondeur.

Cette étude permet de constater que la localisation des racines dans les couches superficielles n'est pas en rapport avec le maximum de l'humidité.

Les couches inférieures, dépourvues de racines, ont été engorgées jusqu'au mois de mai par la nappe, donc saturées d'eau; pendant l'été, elles ont été toujours plus humides à cause de la proximité de la nappe, tandis que l'horizon superficiel, notamment celui de 4 - 20 cm, qui est très riche

en racines, a été moins humide que tous les autres horizons pendant toute l'année.

Ainsi, on constate que les variations quantitatives de la teneur en eau, dans les horizons du profil, ne semblent pas être en rapport avec la stratification des systèmes racinaires.



ÉTUDE DE LA NAPPE

La nappe phréatique est extrêmement salée dans cette station. Nous avons dosé 129,97 g/litre de sels totaux en été.

Le niveau du plan d'eau et sa salure varient suivant la saison. Les figures N^{os} 10 et 11 indiquent les oscillations de la salinité et de la profondeur de la nappe pendant la période de nos recherches.

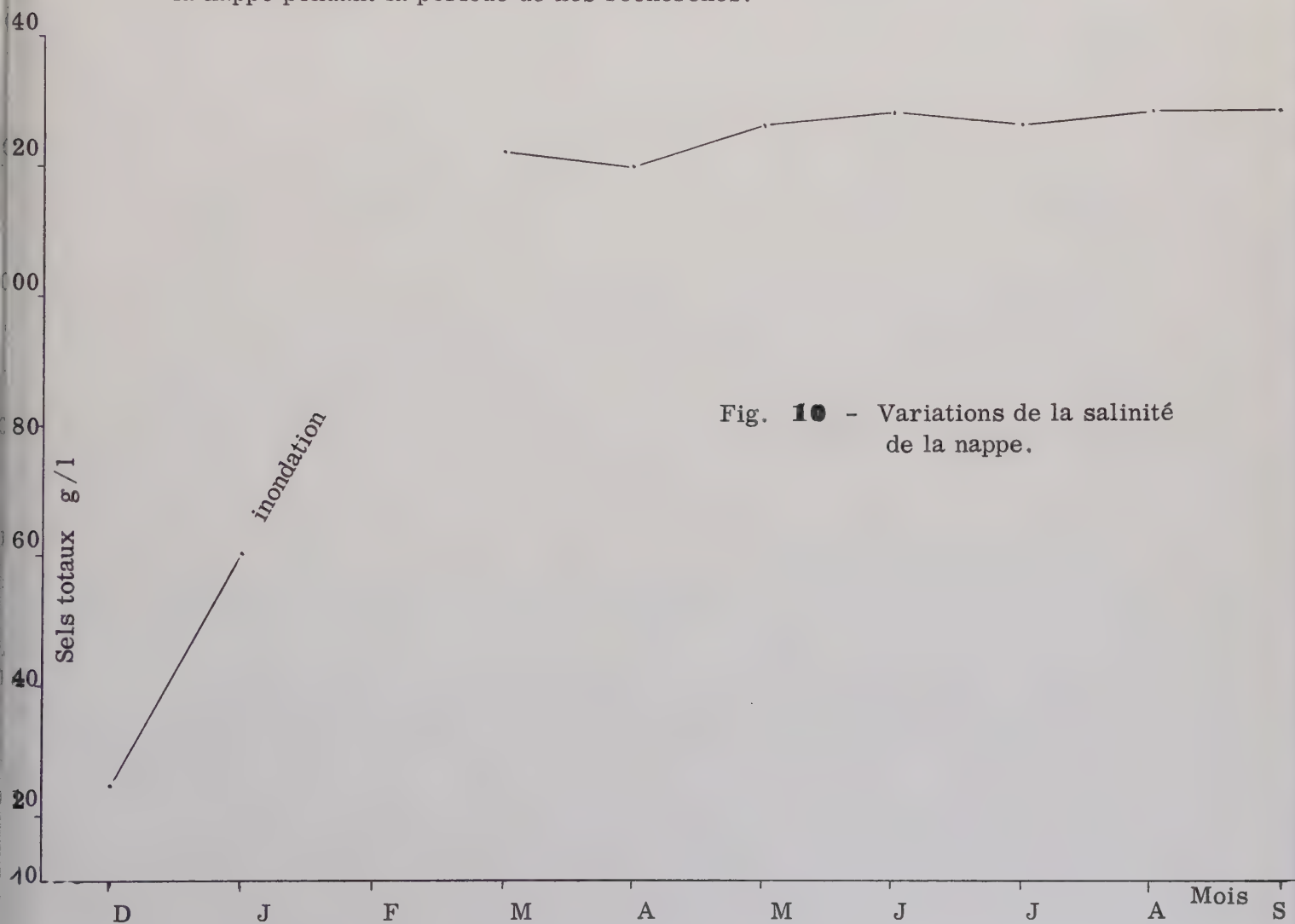


Fig. 10 - Variations de la salinité de la nappe.

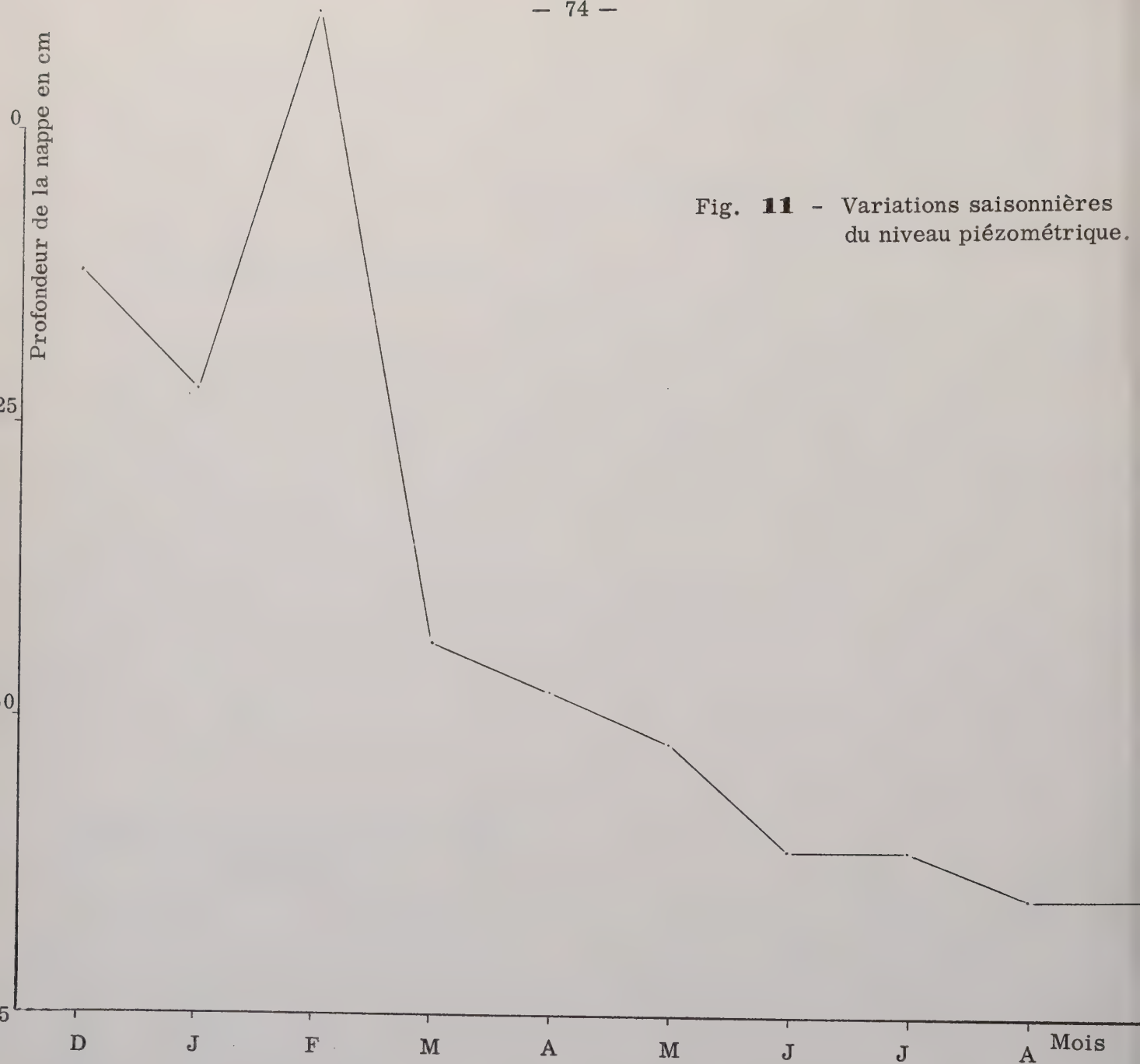


Fig. 11 - Variations saisonnières du niveau piézométrique.

Au mois de décembre, par suite de grandes pluies et des inondations, la nappe s'est rapprochée de la surface du sol; à cette époque, elle se trouvait à 12 cm de la surface (c'est la profondeur minimale que nous ayons observée en dehors des inondations), et sa teneur en sels était beaucoup moins élevée qu'aux autres époques (24,2 g/litre).

Les oscillations de la nappe sont accompagnées par les mouvements d'une couche noirâtre qui provient des fermentations sulfohydriques dont nous avons déjà parlé dans la description du profil. Au mois de décembre, cette couche noirâtre se trouve à 12 - 13 cm de la surface et baigne une grande partie des systèmes racinaires.

Les observations cytologiques sur les radicelles des Arthrocnemum provenant des parties engorgées et non engorgées des racines, nous ont montré que les figures de division paraissent aussi abondantes dans un cas comme dans l'autre. Cela prouve que l'engorgement par la nappe peu salée et la couche de fermentation qui l'accompagne n'inhibent pas la division cellulaire. Au cours de l'année, après la descente de la nappe et la couche de fermentation, les racines ont toujours continué leur vie apparemment normale.

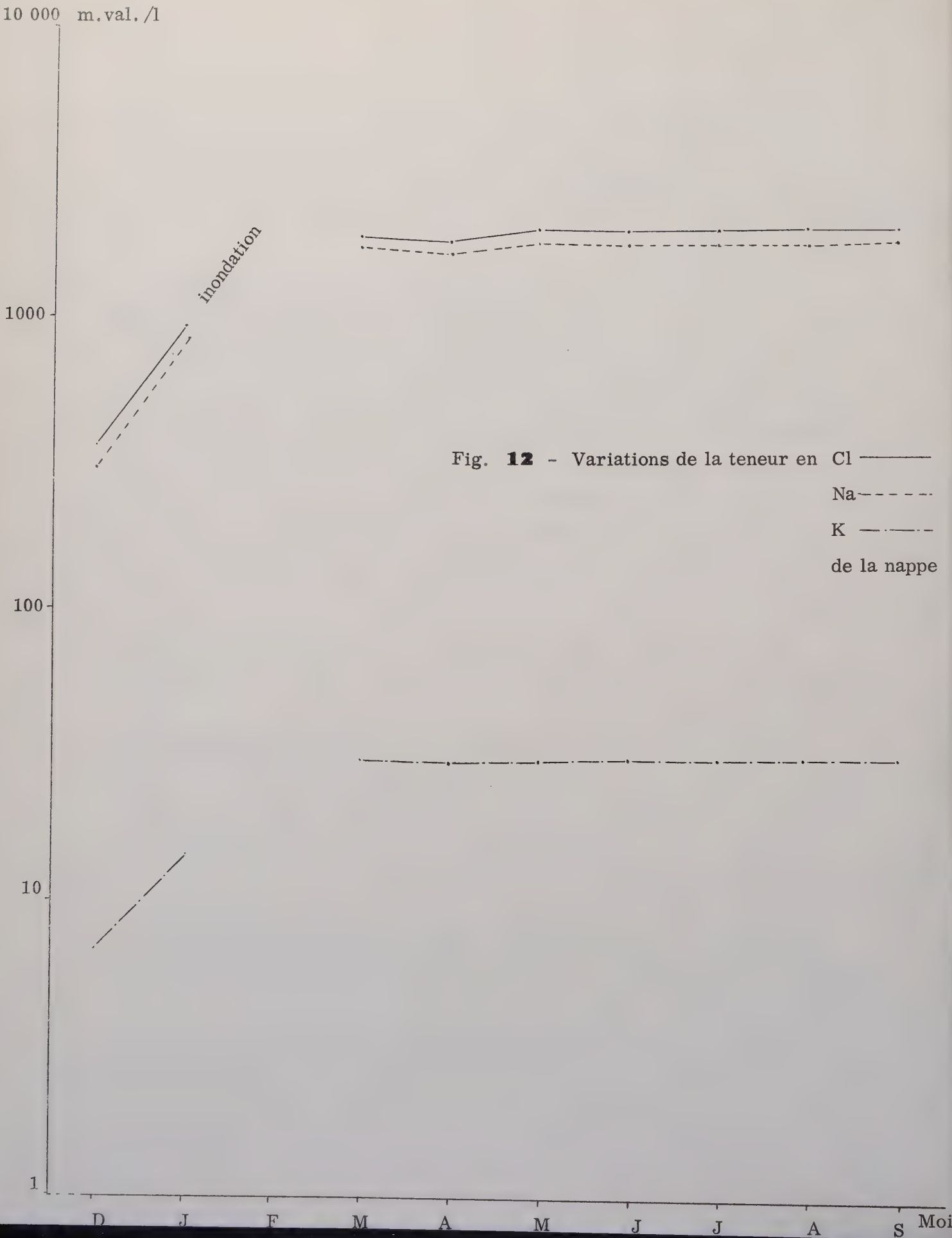
La comparaison des variations du niveau et de la salinité de la nappe montre que la baisse du niveau est suivie d'une remontée de la salure de la nappe.

A partir du mois de juin, la profondeur et la salinité de la nappe se sont montrées quasi stables. Le plan d'eau se trouvait à 65 cm et sa teneur en sels était de 130 g/litre environ.

Pendant l'été 1966, la couche noirâtre de fermentation se trouvait à une profondeur de 65 cm, au niveau où la nappe s'était stabilisée.

En plus de l'étude des variations de la profondeur et de la salure de la nappe, nous avons suivi spécialement les variations de quelques-uns des constituants de la salinité : Cl^- , Na^+ , K^+ .

Dans ce but, nous avons analysé à intervalles réguliers (une fois par mois), l'eau de la nappe. Les résultats de ces analyses sont résumés sur la figure N° 12.



Les courbes des variations de ces éléments sont parallèles et ont la même allure que la courbe de la salinité totale. Une telle représentation ne permet pas d'élucider les nuances des variations de ces éléments. La raison en est d'une part, le fait que l'allure générale de ces variations est identique, et d'autre part, que l'échelle de la figure est très grande. Pour mettre en évidence les fluctuations des proportions des ions dans les sels solubles, nous avons examiné les variations des rapports entre ces éléments.

Nous avons ainsi montré que le rapport Cl / Na ne subit pas de variations appréciables, il reste de l'ordre de 1,16 pour l'eau de la nappe, c'est-à-dire qu'il a pratiquement la même valeur que celui qui existe dans l'eau de mer.

Par contre le rapport Na / K est sujet à certaines variations au cours de l'année. La figure N° **13** les met en évidence.

On remarque, d'après cette figure, qu'en décembre la valeur du rapport Na / K est très proche de celle de l'eau de mer qui est représentée par la ligne continue. Mais en janvier, par suite de l'augmentation de la salinité, ce rapport augmente et s'écarte de celui de l'eau de mer, et à partir de mars, époque où la nappe atteint une concentration élevée et stable, la valeur du rapport Na / K se stabilise.

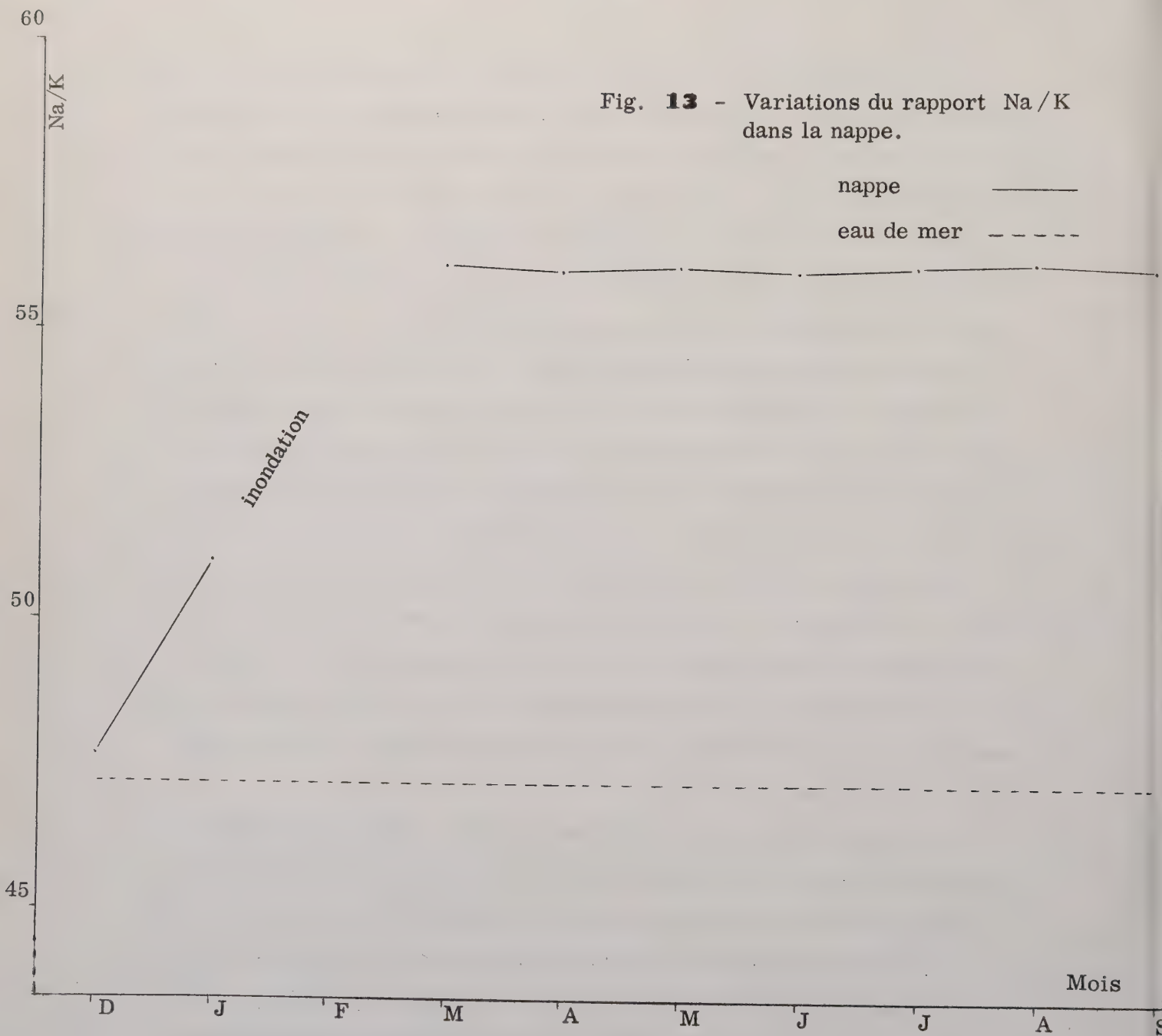
La comparaison des figures N°^{os} **10** et **13** suggère qu'il existe un parallélisme entre les variations de la salinité et celles du rapport Na / K .

Pour expliquer ce phénomène, nous formulerons les hypothèses suivantes.

1. - Admettons que l'eau d'inondation se superpose à l'eau de la nappe initiale sans qu'il se produise de diffusion appréciable entre elles.

Dans ce cas, au fur et à mesure que l'évaporation des couches superficielles augmentera leur teneur en sels, une partie des ions K serait fixée par le sol, entraînant ainsi l'élévation du rapport Na / K .

2. - Si l'on admet au contraire, qu'une diffusion importante mais progressive s'instaure entre les couches profondes et les couches superficielles,



la variation du rapport Na / K sera due à un phénomène qui pourrait être décrit de la façon suivante. En effet, nous venons de voir que la nappe telle qu'elle se présente en été, est plus salée et aussi proportionnellement moins riche en K (rapport Na / K plus élevé) que l'eau d'inondation, la valeur

du rapport Na/K des couches superficielles tendra donc à s'aligner sur celle des couches profondes.

En réalité, il semble que les deux hypothèses soient à retenir, et que les deux phénomènes interviennent conjointement; fixation des ions de K^+ par le sol, diffusion des sels en provenance des couches profondes de la nappe.

Quels que soient les déterminants de ces variations, ces constatations sont particulièrement intéressantes pour nos recherches. En effet, cette étude permet de conclure que les couches inférieures du profil sont engorgées par une nappe fortement salée, tandis que la partie superficielle n'est pas atteinte par la nappe initiale, elle est seulement inondée pendant une courte période de la saison pluvieuse par de l'eau peu salée venant de la surface.

LA SALINITÉ DU SOL ET SES VARIATIONS

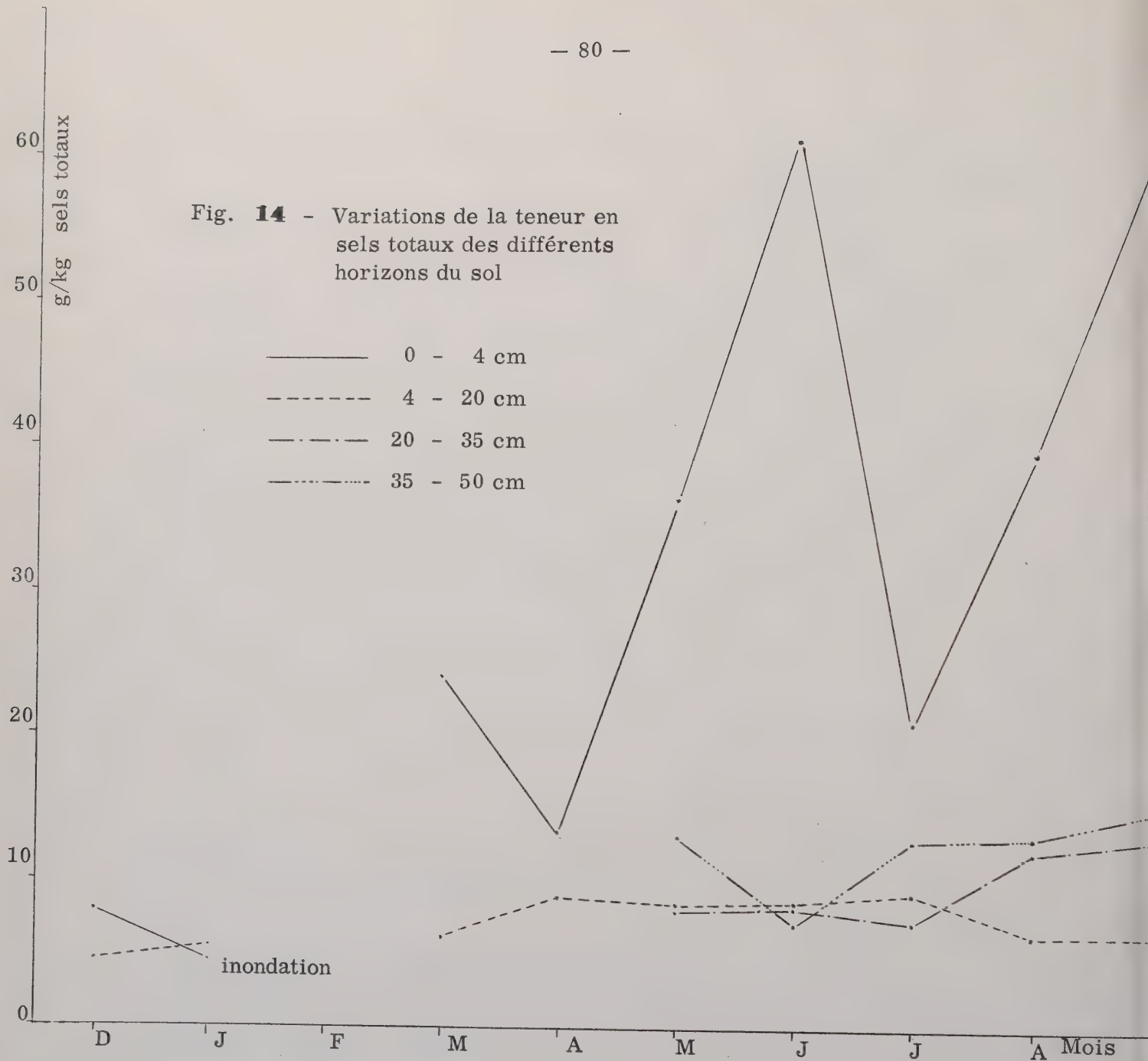
● VARIATIONS QUANTITATIVES

Les variations de la salure des différents horizons du profil ont été représentées sur la figure N° 14.

Cette figure montre que l'amplitude des variations de la teneur en sel est beaucoup plus grande dans la couche superficielle de 0 à 4 cm, que dans les autres horizons du profil. Elle oscille entre 4,4 g/kg (en janvier) jusqu'à 60,5 g/kg (en juin).

En automne et hiver, les sels solubles sont lessivés et entraînés en profondeur. Puis, à mesure que l'on s'approche de l'été, les mouvements ascendants de l'eau s'accroissent, et les sels solubles remontent à la surface

Fig. 14 - Variations de la teneur en sels totaux des différents horizons du sol



et l'on assiste à une forte salinisation de la couche superficielle. Une partie des sels contenus dans cet horizon se trouve à l'état cristallisé⁽¹⁾.

(1) Les méthodes de mesure que l'on pratique actuellement ne permettent pas de doser séparément les sels dissous et les sels cristallisés.

Les variations de la salure dans les autres horizons du sol sont beaucoup plus restreintes et leur amplitude est beaucoup moins grande que la couche superficielle. A titre d'exemple, l'horizon de 4 à 20 cm, où les racines sont abondantes, a été marqué par une salure variant entre 4,51 g/kg et 9,3 g/kg.

On constate également sur la figure N° 14 que l'engorgement des couches inférieures par les eaux de la nappe ne modifie pas visiblement leur salinité. En effet, on remarque d'après les courbes, que la salure de l'horizon situé de 20 à 35 cm de profondeur, au mois de mai, après cinq mois d'engorgement, a été très voisine de celle de l'horizon 4 à 20 cm qui n'avait pas été atteinte par la nappe. Après la descente de la nappe, les mouvements ascendants de l'eau enrichissent le sol en sels solubles. Cet enrichissement est relativement plus accentué dans les couches 35 - 50 et 20 - 35 que dans l'horizon 4 - 20 cm.

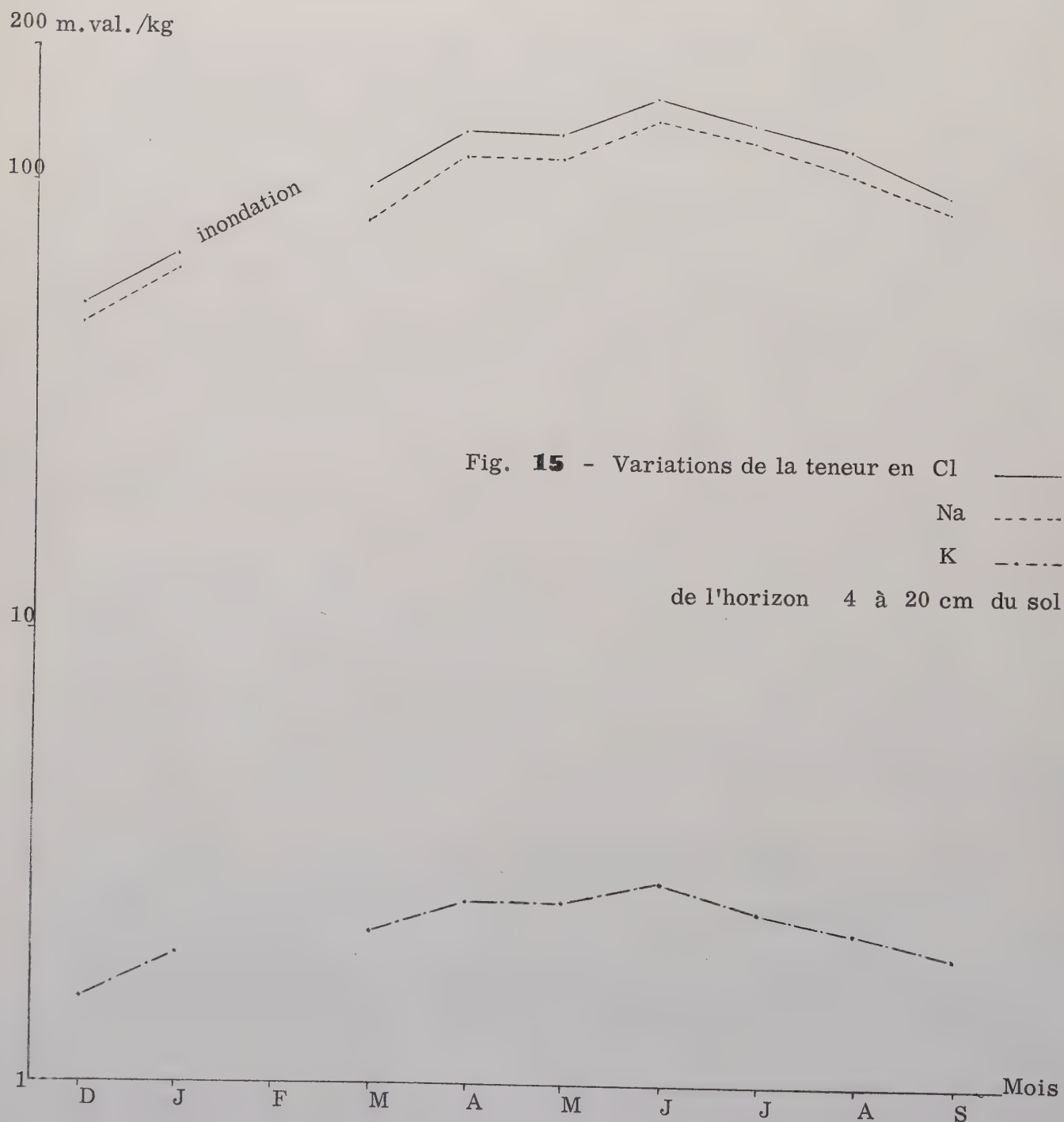
Il s'en suit, qu'au cours de l'été, en excluant l'horizon 0 - 4 cm de surface, on peut observer un gradient croissant de la salure avec la profondeur; à mesure que l'on descend, la salure du sol augmente.

Ainsi, l'étude des variations saisonnières de la salure montre que les horizons inférieurs dépourvus de racines se différencient des couches superficielles par le fait que, d'une part, ils sont engorgés pendant une longue période de l'année, et que d'autre part, ils sont légèrement plus salés pendant la saison sèche de l'été.

● VARIATIONS QUALITATIVES

Parallèlement à l'étude de la salure du sol, nous avons suivi les variations de la teneur en certains ions en Cl^- , Na^+ et K^+ de différents horizons du profil. Nous avons représenté les oscillations de la teneur en ces éléments

dans la couche 4-20 cm du sol sur la figure N° **15**. Elle montre que les variations de ces éléments sont étroitement parallèles non seulement entre eux mais aussi avec les fluctuations de la salinité totale.



L'étude des courbes de variations de Cl^- , Na^+ et K^+ ne permet pas, au premier abord, de comprendre les nuances de ces variations et les modifications de leurs proportions dans les sels solubles; cela tient au fait que l'allure générale de ces fluctuations est la même, et que, par ailleurs, l'échelle de la figure est très grande.

Afin d'élucider les détails des variations des constituants de la salure, nous avons entrepris l'étude des changements des rapports qui existent entre ces éléments, en l'espèce les rapports Cl/Na et Na/K , pour tous les horizons étudiés. Nous avons constaté que le rapport Cl/Na ne subit pas de variations notables aussi bien dans l'espace que dans le temps. La valeur de ce rapport est pratiquement égale à celle que nous avons trouvée pour l'eau de mer (1,165).

A l'encontre de ce rapport, quasi stable, de Cl/Na , le rapport Na/K est sujet à des variations importantes suivant la profondeur des horizons et en fonction de la saison.

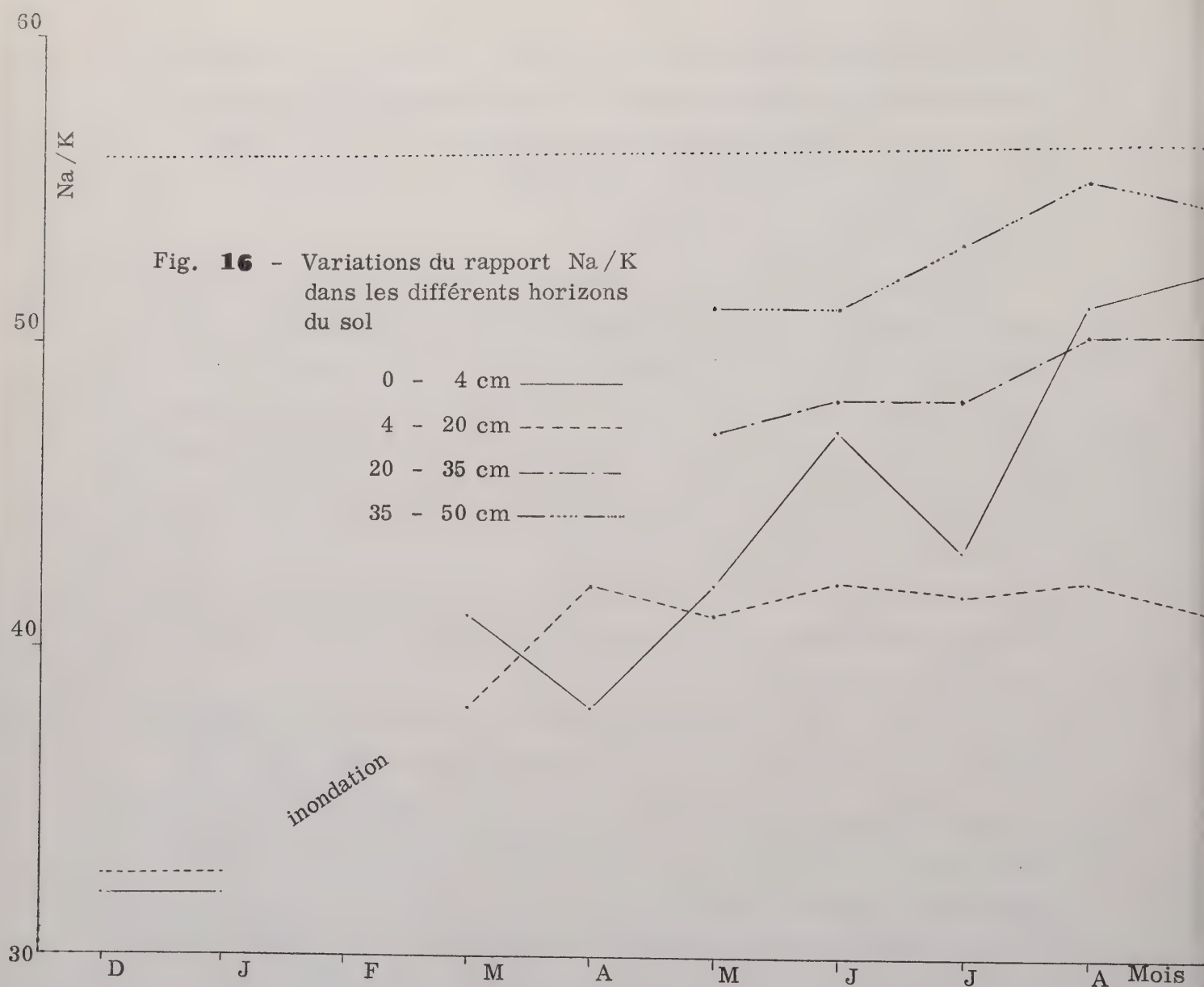
La figure N° **16** illustre les variations de ce rapport dans les différentes couches du profil pendant la période de décembre 1965 à septembre 1966.

Elle montre que l'amplitude des variations de ce rapport est très grande dans la couche superficielle 0 à 4 cm et qu'elle est relativement moins grande dans les horizons inférieurs.

La comparaison des deux figures N° **14** (salinité) et N° **16** (rapport Na/K) montre qu'il existe certains parallélismes entre les courbes des variations de la salure et celles du rapport Na/K dans tous les horizons du profil.

Cela suggère l'hypothèse que les variations du rapport Na/K sont déterminées par les fluctuations de la salure. La comparaison des courbes de salure et celles du rapport Na/K montre que la remontée du sel augmente la valeur de ce rapport et inversement.

Fig. 16 - Variations du rapport Na/K dans les différents horizons du sol



Les variations saisonnières du rapport Na/K semblent être dues aux oscillations de la proportion du K^+ dans les sels solubles. La proportion du Na^+ paraît avoir une position plus stable, d'après le rapport pratiquement invariable de Cl/Na .

Nous pensons que l'augmentation du rapport Na/K au cours des saisons est due au fait que les sels provenant de la nappe sont proportionnellement moins riches en K^+ . En effet, le rapport Na/K est plus élevé dans la nappe que dans l'extrait aqueux du sol (56 dans la nappe contre 32 dans l'extrait de sol 10 - 4 cm, en décembre).

A mesure que le sol s'enrichit en sels solubles, la proportion du K^+ diminue, et ainsi le rapport Na/K augmente. Dans la couche 0 à 4 cm, la valeur de ce rapport est de 32 en décembre et de 54 en septembre. En d'autres termes, la proportion du K^+ dans l'extrait aqueux de sol diminue presque de la moitié au cours de l'année.

Les conclusions de cette étude sont extrêmement importantes en écologie. Elles montrent :

- 1° que les proportions des éléments de la salure sont sujettes à des variations saisonnières;
- 2° que, en d'autres termes, les variations saisonnières de la salure du sol se traduisent aussi bien sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif.

L'étude des variations du rapport Na/K dans le profil est particulièrement intéressante dans le cas de notre travail. La figure N° **16** montre que, en excluant la couche 0 - 4 cm (dont les variations du rapport Na/K sont très accentuées), il existe un gradient croissant du rapport Na/K en profondeur. Les valeurs de ce rapport sont très peu élevées dans la zone d'abondance des racines (4 - 20 cm) et à mesure que l'on descend dans la profondeur les valeurs de ce rapport augmentent.

Tenant compte du fait que le rapport Cl/Na reste invariable au long du profil, la proportion de Na^+ semble rester identique dans tous les horizons, ainsi les variations du rapport Na/K dans le profil seraient dues aux variations de la proportion du K^+ .

Les couches supérieures ayant une valeur moins élevée du rapport Na / K seront proportionnellement plus riches en K^+ . Quelles que soient les causes des variations de ce rapport (aussi bien dans le temps que dans l'espace), les résultats obtenus sont intéressants.

Cette étude montre que les horizons superficiels contenant les racines peuvent se distinguer des couches inférieures dépourvues de racines, sur le plan des variations des rapports des éléments importants.

Dans le cas de notre étude, nous pouvons conclure que les horizons supérieurs sont caractérisés par des valeurs moins élevées du rapport Na / K .

Nous avons également représenté sur la figure N° **16** la valeur du rapport Na / K dans la nappe. Il est intéressant de remarquer que les valeurs du rapport Na / K dans le sol se rapprochent de celles de la nappe au fur et à mesure que la profondeur augmente. Cela serait une preuve en faveur de l'hypothèse que nous avons émise pour expliquer les variations du rapport Na / K .

Les données concernant les variations du rapport Na / K ont fait l'objet d'une analyse statistique portant sur la période de juin - septembre (1966), comme l'on a fait pour le Ca^{++} actif (pour l'explication des raisons du choix de la période, voir la page 87).

Cette analyse montre que, à l'échelle de la station :

- 1° les différences entre les horizons ne sont pas significatives;
- 2° les variations saisonnières se révèlent également non significatives.

L'ÉTUDE DU CALCIUM ACTIF

Par le terme de calcium actif, nous désignons avec J.J. CORRE (inédit encore) le Ca^{++} soluble, plus le Ca^{++} du calcaire actif.

Le " Ca^{++} actif" est dosé par agitation de l'échantillon de sol, en présence de l'oxalate de NH_4 , selon la méthode Drouineau.

On utilise cette expression en raison de l'importance dans nos sols salés de la fraction de Ca^{++} non liée aux carbonates.

Nos observations sur le Ca^{++} actif ont fait l'objet d'une analyse statistique. Nous devons signaler à ce propos que l'étude statistique porte sur les données recueillies pendant la période de juin - septembre, le choix de cette période repose sur les deux raisons suivantes :

1° A cette période, nos échantillonnages ont permis d'avoir des données nécessaires pour tous les horizons du profil (auparavant, l'échantillonnage s'effectuait pour les deux ou trois horizons de surface en raison de l'engorgement des couches inférieures par la nappe).

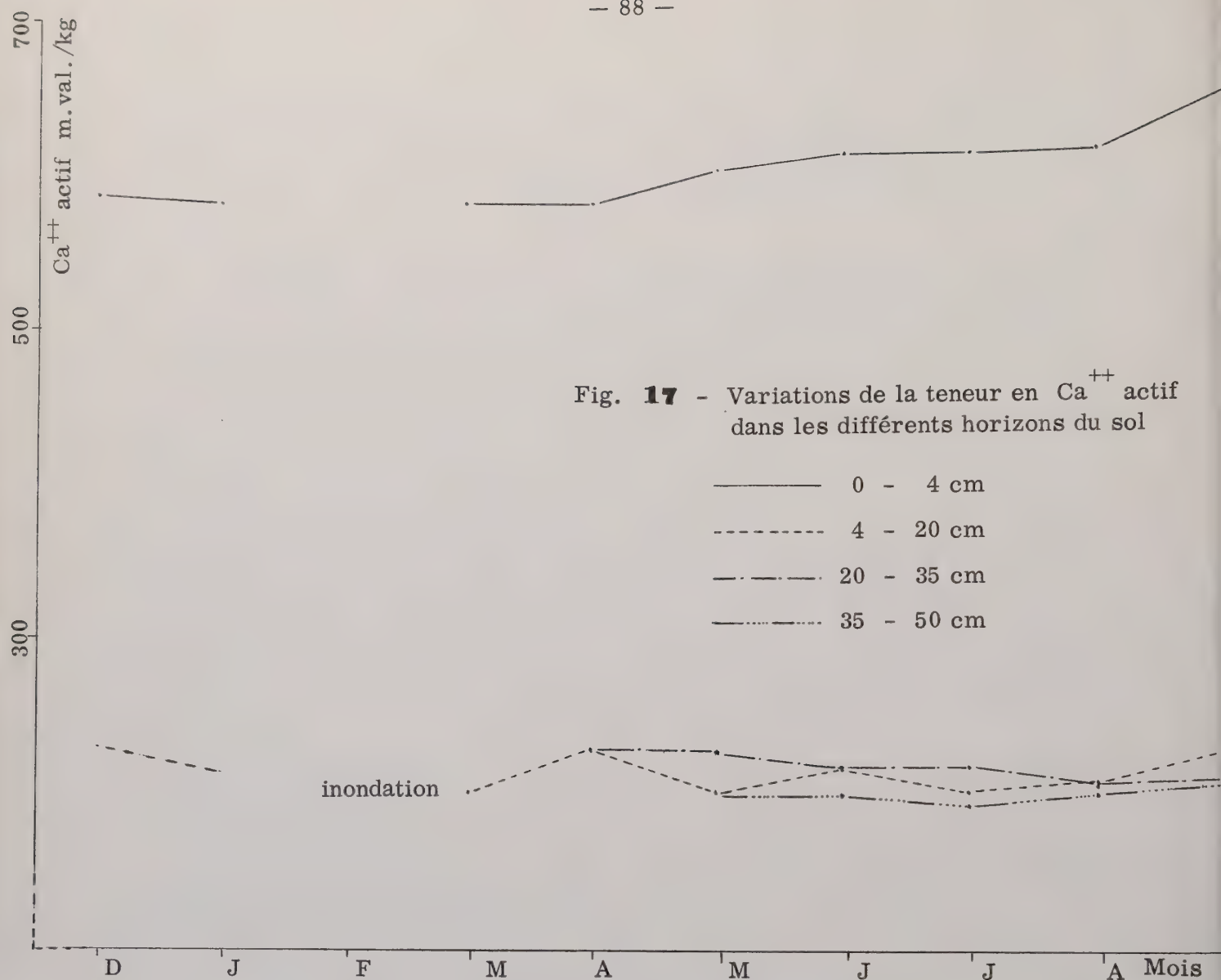
2° A cette période, les données existent pour toutes les stations étudiées.

● LES VARIATIONS DU Ca^{++} ACTIF

Les variations saisonnières de la teneur en Ca^{++} actif des différents horizons du profil ont été représentées sur la figure N° 17.

On remarque d'après cette figure que :

- la couche superficielle de 0 à 4 cm est beaucoup plus riche en Ca^{++} actif que les autres horizons du profil;
- la teneur en Ca^{++} actif de la couche de 4 - 20 cm a été très



voisine de celle des couches inférieures pendant toute l'année.

Le test de Duncan a montré que :

- la différence entre l'horizon superficiel et les couches inférieures est significative ($P < 0,05$ avec une moyenne de 613 m.val. de Ca^{++} actif/kg dans l'horizon superficiel contre 209 m.val./kg dans les couches inférieures);

- les différences de la teneur en Ca^{++} actif entre les horizons de 4 - 20 cm, de 20 - 35 cm et de 35 - 50 cm ne sont pas significatives;
- les variations saisonnières du Ca^{++} actif se sont révélées non significatives dans cette station.

Nous pouvons tirer une première conclusion de cette étude : il n'existe pas de parallélisme entre les variations du Ca^{++} actif dans le profil et la localisation des racines en surface. Les différences du Ca^{++} actif entre l'horizon d'abondance des racines (4 - 20 cm) et les couches dépourvues de racines sont non significatives.

CONCLUSIONS DES RECHERCHES SUR LA STATION DE L'ESPIQUETTE

Les systèmes radiculaires des deux *Arthrocnemum* étudiés dans cette station ont un développement particulièrement prononcé dans les directions latérales.

L'appareil racinaire s'étend sur une immense surface, mais la répartition verticale des racines est nettement limitée.

Sur le plan des caractères morphologiques - quantitatifs, on remarque, chez les deux espèces étudiées, la rareté relative des radicelles d'une part, et la pauvreté en racines adventives de l'autre. L'étude des facteurs édaphiques principaux, des divers horizons du profil, permet de conclure que,

les horizons superficiels se distinguent des couches inférieures par les caractères suivants :

1° Sur le plan de l'influence de la nappe, les couches dépourvues de racines sont engorgées par la nappe très salée et pendant une période très longue, tandis que les horizons superficiels ne sont pas atteints par la nappe salée, ils sont inondés pendant de courtes périodes par de l'eau peu salée provenant de la submersion.

Il en résulte que les horizons inférieurs sont marqués par des traces d'hydromorphie, de plus en plus abondantes en profondeur.

2° Sur le plan des variations quantitatives de la salinité, nous avons constaté que la salure du sol est légèrement plus élevée dans les couches inférieures que la zone d'abondance des racines.

L'horizon superficiel 0 - 4 cm est très riche en sels pendant l'été, et pratiquement dépourvu de racines, sauf au voisinage immédiat de la touffe où il est traversé par des racines adventives.

Au point de vue des variations qualitatives de la salure, les horizons superficiels sont caractérisés par des valeurs peu élevées du rapport Na / K pendant toute l'année.

3° Enfin l'étude de la porosité a montré que les couches superficielles sont nettement mieux aérées que les horizons de profondeur.

La porosité totale du sol dans les horizons dépourvus de racines de cette station est de l'ordre de 41 %.

CHAPITRE II

CRIQUE DE L'ANGLE

GÉNÉRALITÉS SUR LA VÉGÉTATION

La végétation de la crique de l'Angle possède une composition floristique différente des autres localités étudiées et elle a une physionomie particulière, qui est due à la forme et la répartition des touffes d'A. fruticosum; celles-ci sont denses et espacées les unes des autres.

Les espèces vivaces sont :

Arthrocnemum fruticosum (L.) Moq.

A. perenne (Miller) Moss. = Salicornia perennis Miller

Obione portulacoides (L.) Moq.

Quant aux espèces annuelles, il n'y en a qu'une seule : S. herbacea L.

La crique a une très légère pente de 0,5 à 1 %, inclinée vers l'étang.

Les espèces vivaces précitées y ont chacune une localisation préférentielle.

Obione portulacoides forme, en bordure de l'étang, un tapis dense et fermé qui s'étale comme une bande plus ou moins continue de 4 à 6 cm de largeur. Cette espèce est surtout localisée sur les bourrelets de la bordure qui sont très fréquemment inondés et arrosés par l'eau de l'étang. Elle est donc dans un milieu généralement très humide.

En arrière d'elle, se place en certains endroits, une autre bande, celle-ci à A. perenne qui forme des touffes très appliquées au sol et basses.

En troisième position, A. fruticosum et S. herbacea. C'est ici sur les parties les plus éloignées du bord, la localisation préférentielle de ces espèces, mais A. fruticosum pénètre parfois à l'état isolé dans les deux ceintures précédentes. Quant à S. herbacea qui est annuelle, elle est disséminée un peu partout. Les touffes d'A. fruticosum sont en général nettement isolées les unes des autres mais elles sont parfois plus ou moins étroitement entourées par Obione portulacoides et A. perenne.

Dans la crique de l'Angle, l'étude des facteurs édaphiques et de la nappe nous a montré que la répartition des trois espèces est déterminée essentiellement par les variations de la topographie du lieu. Les conditions de la salure de la nappe et la composition granulométrique du sol sont pratiquement partout les mêmes.

Nous avons choisi trois stations pour prélever des échantillons de la nappe et du sol. Ces trois stations se trouvent : la première au milieu des populations d'A. fruticosum, la deuxième dans celles à A. fruticosum et A. perenne et la troisième au milieu des peuplements à A. fruticosum et d'Obione portulacoides.

Les résultats de toutes les analyses faites dans ces trois stations ayant été pratiquement identiques à des nuances inexprimables près, nous nous croyons autorisé à ne présenter ici que ceux de la station située au milieu des peuplements à A. fruticosum pur.

A. FRUTICOSUM

ET SON ENRACINEMENT A LA CRIQUE DE L'ANGLE

A. fruticosum se présente dans cette station par des touffes ayant en moyenne de 40 à 60 cm de hauteur et de 30 à 50 cm de diamètre.

Les touffes sont très souvent distantes et nettement isolées les unes des autres, les racines des individus ne se touchant pas.

Lorsque l'espèce se trouve dans les deux ceintures plus proches du bord de l'étang, ces individus sont étroitement entourés par Obione portulacoides et Arthrocnemum perenne.

Nous décrivons d'abord le comportement des racines des touffes isolées : le mode de développement des racines est identique à celui observé chez l'espèce de la station de l'Espiguette; en ce sens que, le système racinaire des individus jeunes est constitué par une racine pivotante, souvent unique, de 12 à 16 cm de longueur.

L'apparition des racines adventives est très précoce, et elles sont très abondantes. Nous avons estimé ⁽¹⁾ leur masse à 60 - 70 % de la totalité du système racinaire.

Les racines secondaires sont insérées sur la racine primaire en angle droit s'étendant horizontalement dans les couches superficielles du sol.

Elles ont, en général, 60 à 120 cm de longueur. La longueur maximale observée dans cette station a été de 135 cm alors qu'à l'Espiguette ces racines pouvaient atteindre 310 cm. Arrivé à l'état adulte, l'appareil racinaire des individus adultes s'étend couramment sur la surface d'un cercle de 2,25 m de diamètre, recouvrant ainsi environ 4 m².

(1) Estimation à vue.

Les racines adventives sont également horizontales et leur longueur est, en général, de 30 à 50 cm.

L'ensemble de l'appareil racinaire est caractérisé par une ramification très dense et une grande richesse en radicelles et le type de la ramification est identique à celui que nous avons décrit dans les autres stations (Espiguette) pour la même espèce. La répartition des racines se fait dans le sol, d'une manière sensiblement uniforme dans toutes les directions.

La localisation des racines est extrêmement prononcée dans cette station; le système racinaire se trouve en totalité dans les couches superficielles de 0 à 20 cm, et même parfois dans les 15 premiers centimètres du profil.

Les touffes d' A. fruticosum étant suffisamment éloignées les unes des autres, les divers modes de représentation des racines en sont largement facilités.

Pour illustrer, d'une manière représentative, le mode d'enracinement d' A. fruticosum de la crique de l'Angle trois individus ont été choisis par la méthode que nous avons précédemment décrite. (Page 55)

En application de la technique du repérage des racines sur les profils verticaux, nous avons creusé des tranches de 80 cm de largeur et 50 cm de profondeur, l'une exactement au centre, l'autre à 30 et 60 cm du centre de la touffe. La position des racines a été schématisée. La figure N° **18** illustre les "coupes" des racines des trois individus choisis. Chaque individu est représenté par un signe particulier. Cette figure montre que dans tous les profils étudiés, les racines sont presque exclusivement entre 5 - 15 cm de profondeur, on en observe rarement entre 15 et 20 cm; enfin au-delà de 20 cm, les racines sont totalement absentes.

On remarque, également, qu'au voisinage immédiat de la touffe, et seulement ici, la couche la plus superficielle entre 0 et 5 cm contient de plus quelques racines probablement adventives.



A. fruticosum (adulte)
à la crique de l'Angle



A. fruticosum (jeune plante)
même station que ci-dessus

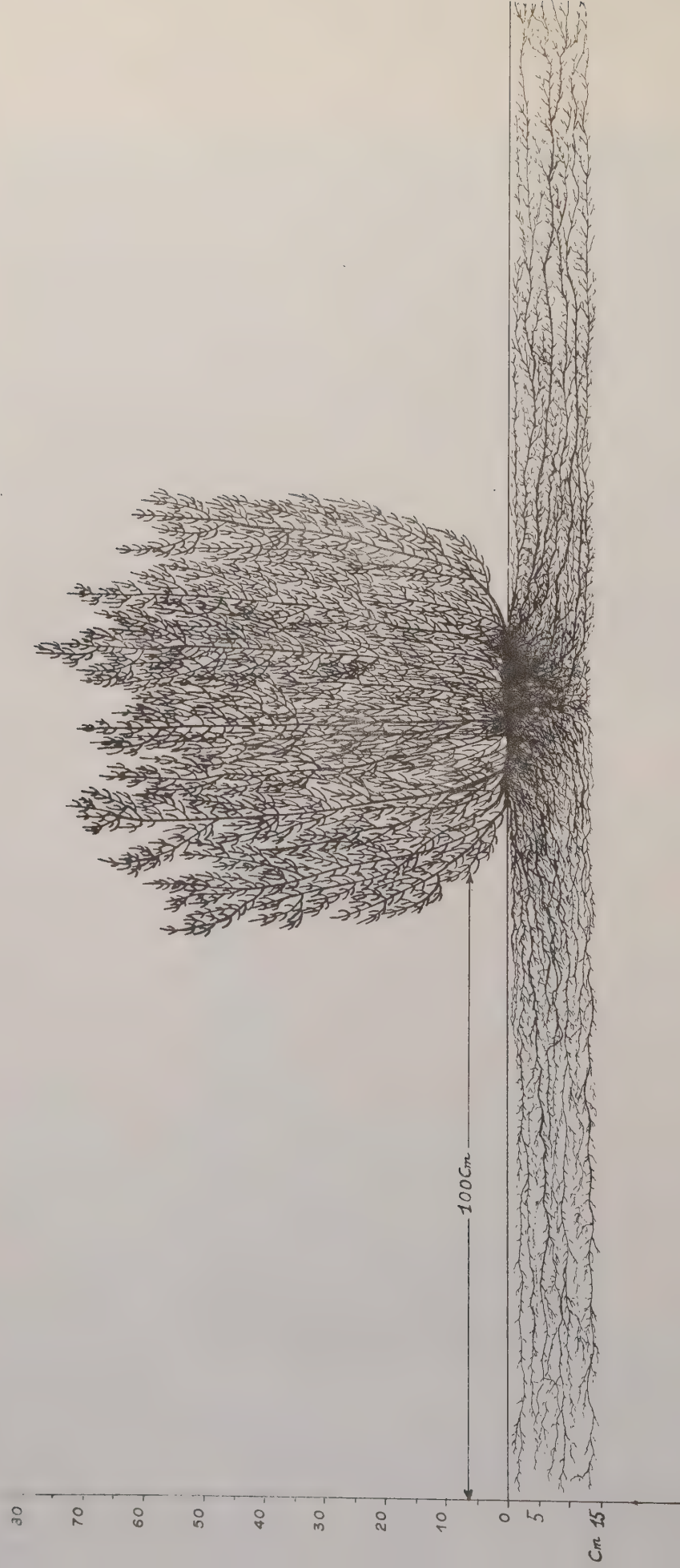


Planche 4 - *A. fruticosum* et son enracinement à la crique de l'Angle

Répartition des racines d'*A. fruticosum* dans le sol à la crique de l'Angle

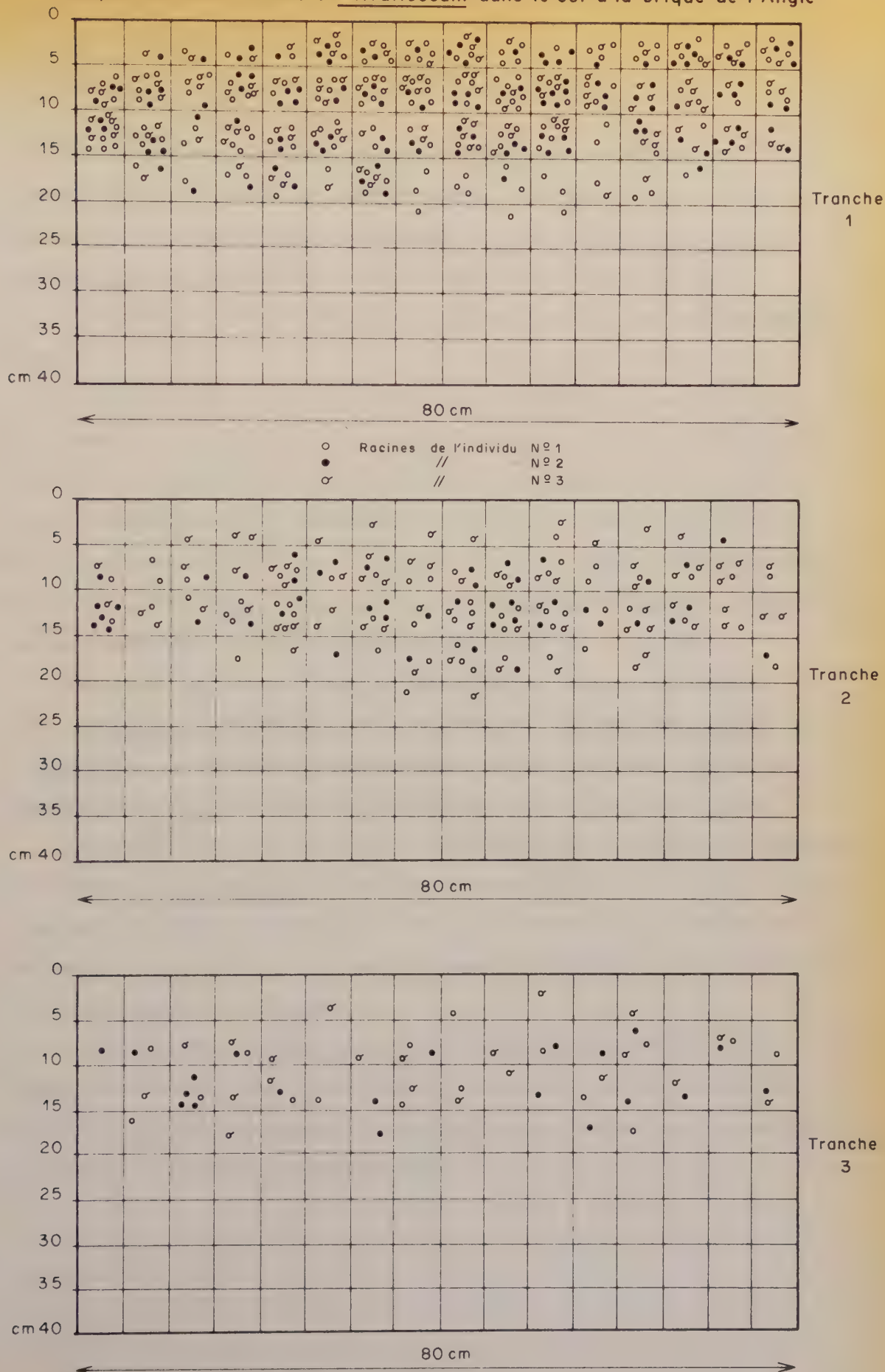


Fig. 18

Pour représenter les variations de la densité du chevelu des racines que nous avons exprimées par les poids de masse, et en fonction de la distance des racines de la touffe, nous avons appliqué la méthode d'échantillonnage dont les principes ont été déjà expliqués (page 56) figure N° **19**.

Le poids des racines existantes sur une surface de $1\,000\text{ cm}^2$ de chaque cercle.

La figure N° **19** représente dans des histogrammes, pour chacun des trois individus, que la densité des racines change brusquement du centre de la touffe vers l'extérieur. D'après les calculs que nous avons faits pour les trois individus étudiés, la densité des racines est 110 fois plus élevée au centre des touffes qu'à 75 cm de distance du centre. Malgré cette différence de la densité des racines, leur position est pratiquement identique, elles sont toujours localisées dans les couches superficielles de 0 à 20 cm.

Nous avons également étudié la répartition des racines des touffes d'A. fruticosum, lorsqu'elles sont entourées par Obione portulacoides et A. perenne : la localisation des systèmes radiculaires dans les couches superficielles a toujours été trouvée identique à celle des touffes isolées.

Nous n'avons pas pu préciser les variations de la longueur et de l'extension des racines d'A. fruticosum dans les groupements fermés. La raison en est, d'une part, la densité extrême des racines, et d'autre part, le fait que les racines de cette espèce ne sont pas facilement identifiables au milieu de celles des autres espèces cohabitantes.

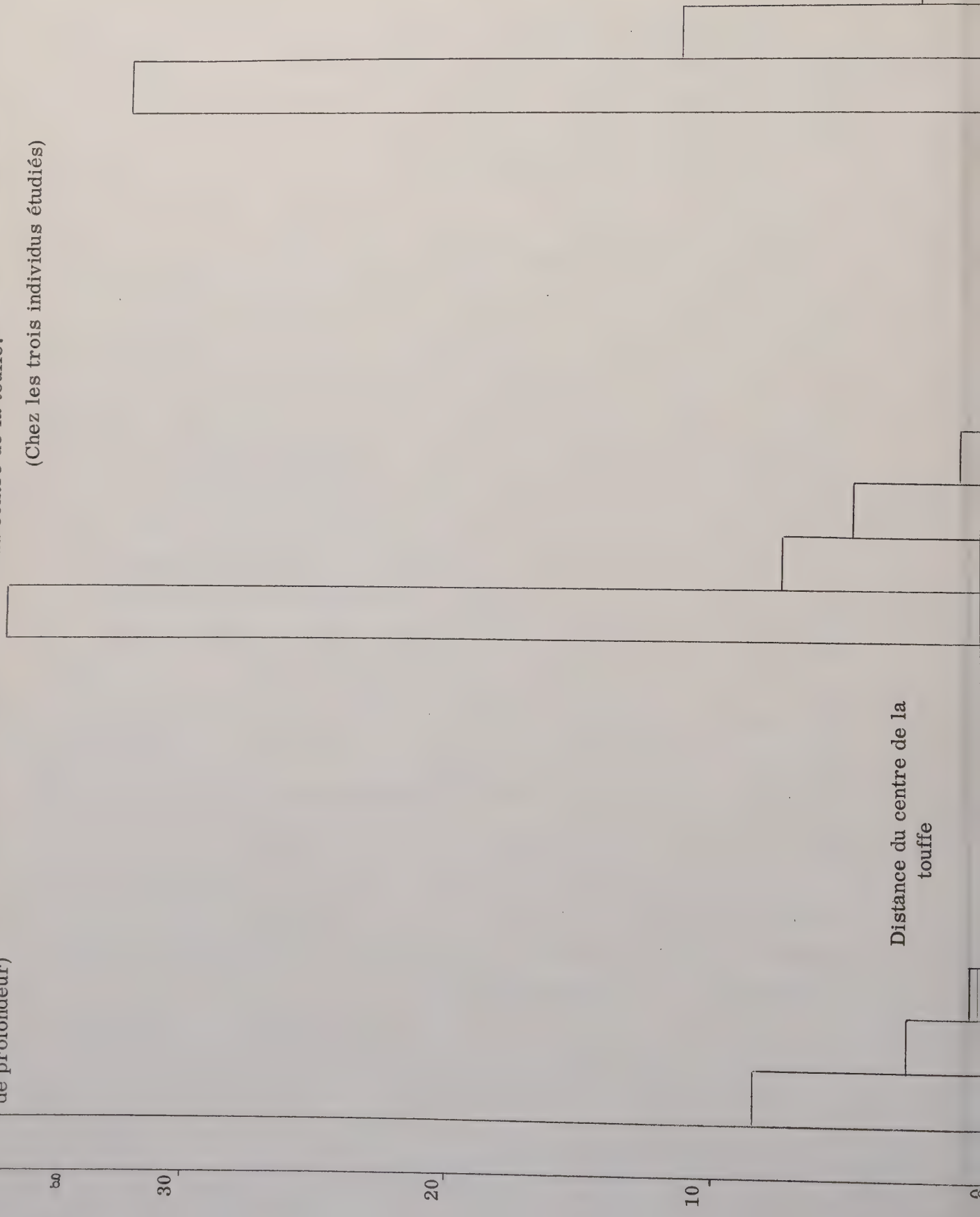
On peut conclure de toutes nos observations que la localisation des racines dans les horizons superficiels est en relation avec la présence des facteurs d'inhibition s'opposant à la pénétration des racines dans les couches inférieures. Il en sera question plus loin.

40 Poids de racines contenues sous une surface

de 1 000 cm²
(jusqu'à 35 cm
de profondeur)

Fig. 19 - Variations de la densité de racines en fonction de la distance
du centre de la touffe.

(Chez les trois individus étudiés)



Distance du centre de la
touffe

DESCRIPTION DU PROFIL PÉDOLOGIQUE

Les propriétés du sol, dans cette station, sont déterminées par l'influence du sel, l'existence d'une nappe phréatique salée et la rareté des inondations par l'eau de l'étang.

Notre étude du profil visant essentiellement les caractères du sol intéressant l'écologie des plantes, est basée principalement sur la position des racines dans les divers horizons, la répartition des sels solubles et les caractères hydromorphes.

Nous avons distingué les horizons suivants :

- 1° 0 à 4 cm, horizon très riche en sels solubles, couleur gris foncé (5 Y 4/1), effervescence à ClH forte et d'assez longue durée.
Il représente l'horizon A1.
- 2° 4 à 16 cm, horizon de couleur olive (5 Y 5/3), effervescence à ClH forte, assez longue, très riche en racines et radicelles.
C'est l'horizon A2.
- 3° 16 à 35 cm, racines et radicelles absentes : couleur olive (5 Y 5/3), très compact. Taches d'hydromorphie, de taille relativement petite, de couleur jaune brunâtre (10 Y R 6/4); du haut vers le bas, les dimensions de ces taches augmentent progressivement.
Cet horizon est la couche supérieure de G (G1). Le passage entre G et A est très progressif.
- 4° 35 à 50 cm, couleur jaune brunâtre (5 Y 5/3), avec des taches d'hydromorphie, plus fréquentes que dans la couche précédente :
les dimensions de ces taches sont, en général, de 5 cm de diamètre

environ; leur couleur est jaune brunâtre (10 Y R 6/4). C'est la couche inférieure de l'horizon G (G2).

Au-delà de cet horizon, le sol a une couleur gris foncé (2,5 Y 6/0); c'est un horizon de gley proprement dit qui résulte de l'engorgement presque permanent par la nappe salée.

En suivant les mouvements de la nappe tout le long de l'année, nous avons constaté qu'elle parcourt le profil du sol jusqu'à 18 cm de la surface, laissant des traces d'hydromorphie, plus ou moins rougeâtres et de plus en plus grandes, et plus fréquentes en profondeur.

Dans l'horizon de gley, nous distinguons deux couches : une supérieure (G1) et une inférieure (G2) qui sont ici très nettes.

Quant aux teneurs en sels solubles qui ont été suivies pendant toute l'année, nous renvoyons le lecteur aux pages 113 - 119 où cette question a été exposée. Le fait saillant est la très forte salure en surface pendant l'été et la présence de sels dans tous les horizons du profil.

La présence de sels dans l'ensemble du profil, leur accumulation en surface pendant l'été et surtout l'absence de l'horizon de B, nous permet de classer le sol de cette localité dans la sous-classe de solonchak aussi bien dans la classification française de G. AUBERT et Ph. DUCHAUFOR (1962) que dans la classification russe.

De plus, l'existence de caractères hydromorphiques sous forme d'un horizon de G, nous amène à situer le sol de cette localité dans le groupe des sols salés et hydromorphes à gley de la classification de NOVIKOFF.

● TEXTURE

Les résultats des analyses granulométriques des différents horizons du profil sont représentés dans le tableau N° 8 et la figure N° 20.

Tableau N° 8
Résultats des analyses granulométriques

Composant	Diamètre en μ	Profondeur en cm			
		0 - 4	4 - 20	20 - 35	35 - 50
		%	%	%	%
Argile	< 2	10,40	10,12	9,43	9,80
Limon fin	2 - 20	{ 39,56	{ 30,63	{ 41,56	35,92
Limon grossier	20 - 50	{ 34,12	{ 31,66	{ 30,12	31,43
Sable	sable 50 - 100	13,45	22,92	14,92	18,15
	- 100-200	1,28	3,50	1,79	2,89
	- 200-500	0,42	0,54	0,52	0,68
	- 500-1 000	0,18	0,20	0,28	0,36
	1000-2 000	-	-	0,19	0,54
Matière organique		0,26	0,31	0,11	0,16

L'examen de ce tableau montre que la composition granulométrique des strates précitées est pratiquement la même. Le type de la texture, dans l'ensemble du profil, est "limon fin argileux" (L. f. a.).

La teneur du sol en limon est extrêmement élevée et est pratiquement la même dans tous les horizons. Le taux d'argile est plus faible, mais également

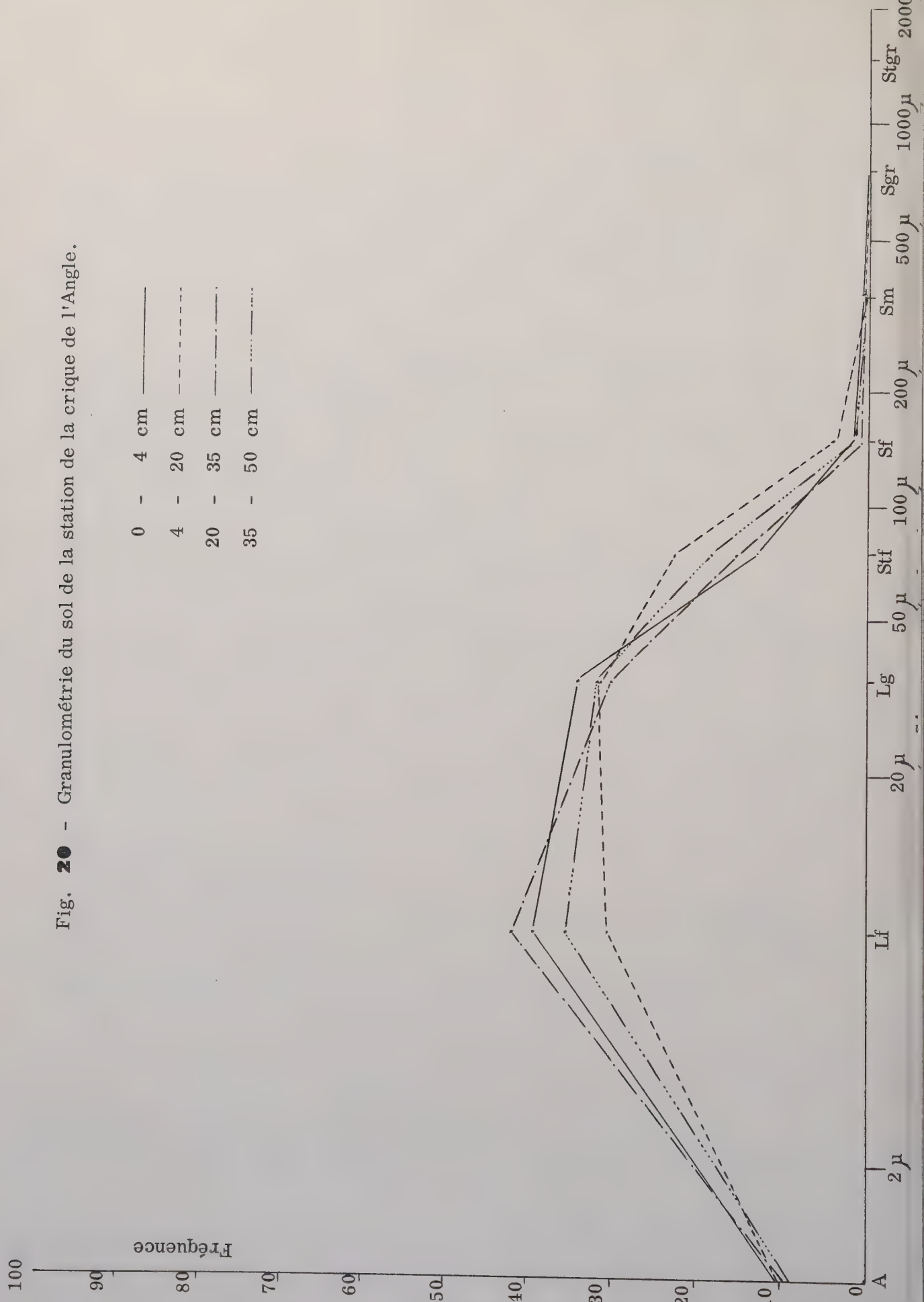


Fig. 20 - Granulométrie du sol de la station de la crique de l'Angle.

de même grandeur dans les différentes couches. Il n'y a donc pas de lessivage du profil. La texture tout le long du profil est donc homogène.

La localisation des racines dans les couches superficielles n'est donc pas en rapport avec la texture.

● LE pH

L'étude du pH a montré qu'il ne subit pas de variations sensibles, ni en fonction de la profondeur, ni au cours des saisons. Les valeurs, pendant toute l'année, oscillent autour des chiffres suivants :

Tableau N° 9

Valeurs observées au mois d'août 1966

Profondeur en cm	pH
0 à 4	7,95
4 à 20	7,9
20 à 35	7,9
35 à 50	7,95

Ainsi le profil semble être homogène en ce qui concerne le pH. On peut conclure que l'état de saturation du complexe adsorbant est semblable dans les différents horizons du profil.

● STRUCTURE DU SOL

De 0 à 16 cm de profondeur, la structure est lamellaire, assez compacte. C'est la couche la plus aérée et la plus favorable à l'expansion des racines.

Les horizons inférieurs, de 16 à 50 cm, ont une structure particulière massive et très compacte.

L'état structural du sol a été étudié par la méthode de la densité apparente, dont on a déduit la porosité totale. Dans la couche superficielle de 0 à 16 cm, la densité apparente moyenne constatée a été de 1,38 g/ml et dans les horizons inférieurs, au-delà de 16 cm de 1,58 g/ml. (Figure N° 21)

Si nous admettons, suivant les conventions, que la densité réelle du sol est 2,6, on obtient pour la porosité totale des différents horizons, les valeurs suivantes :

$$\begin{array}{lll} \text{profondeur} & 0 - 16 \text{ cm} & = 47 \% \\ & 16 - 50 \text{ cm} & = 39,2 \%. \end{array}$$

On met ainsi en évidence que les couches inférieures sont nettement moins structurées et moins aérées que les horizons superficiels.

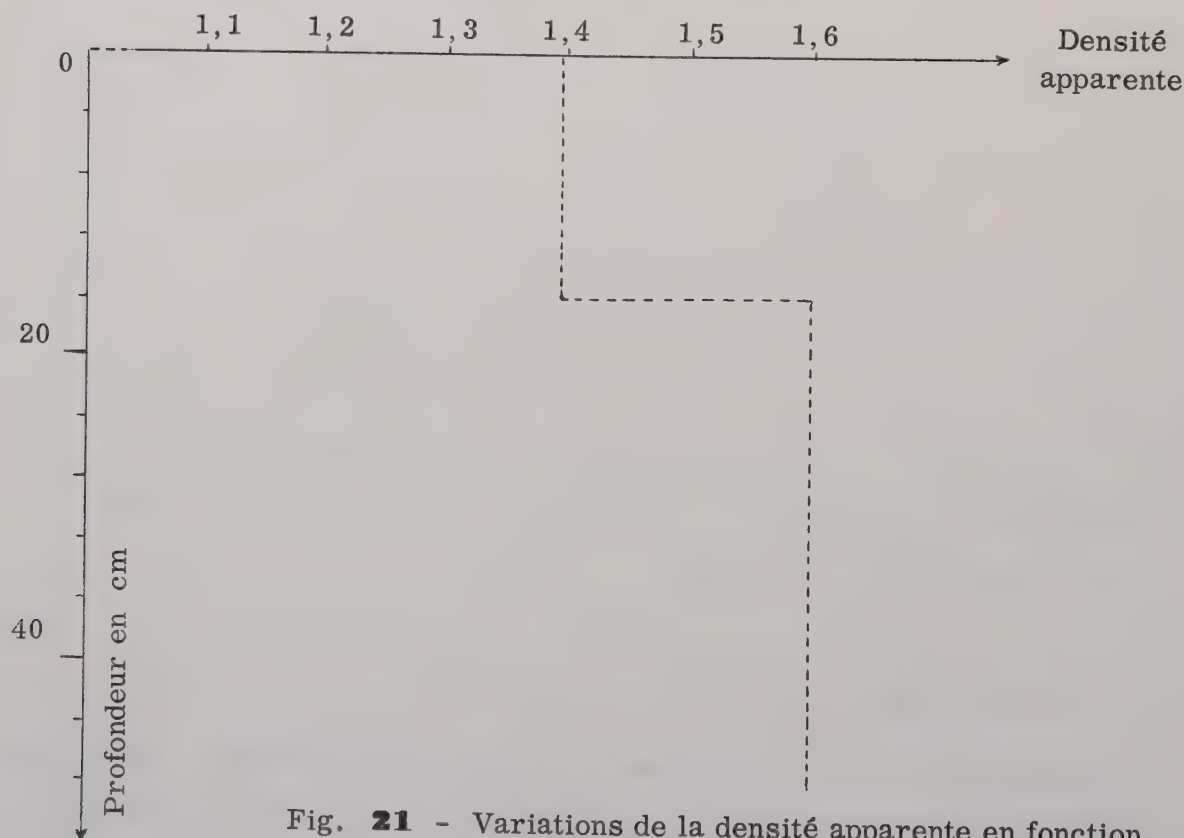


Fig. 21 - Variations de la densité apparente en fonction de la profondeur.

RÉGIME DES INONDATIONS

La station de la crique de l'Angle est soumise aux invasions de l'eau salée de l'étang de Thau. La submersion se produit aux périodes de grandes tempêtes et de pluies torrentielles.

Les eaux d'inondation proviennent à la fois de l'eau de l'étang qui est salée, et des précipitations qui sont douces; comme celles-ci sont en proportions variables, il en résulte une salure également variable.

Pendant la période de notre étude, nous avons noté la hauteur de l'eau de submersion, sa salure totale, ainsi que quelques-uns des constituants de la salinité.

En raison de l'inondation, il n'a pas été possible de prélever des échantillons du sol et de la nappe, ce qui explique l'interruption de toutes nos courbes illustrant les variations saisonnières des éléments étudiés.

Le tableau N° 10 résume l'ensemble des mesures faites sur des prélèvements effectués au cours des deux inondations de l'année 1965 / 66, au même endroit.

Tableau N° 10

Mois	Hauteur de submersion en cm	salinité totale g/l	Cl m. val. /l	Na m. val. /l	K m. val. /l	Na/K	Cl/Na
Février 1966	6	17,11	240	205	3,78	54	1,16
Octobre 1966	7	34,49	514	443,4	8,03	55	1,16
Eau de mer	—	—	—	—	—	47	1,16

Les différences d'une inondation à l'autre sont très nettes : la station au mois de février a été submergée par de l'eau beaucoup moins salée que celle de l'inondation d'octobre.

Pendant les autres mois de l'année biologique 1965 / 66, il n'y a pas eu de submersion.

Les précipitations automnales de l'année suivante 1966 / 67 ont provoqué une nouvelle submersion en octobre; puis jusqu'en février, il y eut plusieurs autres submersions temporaires.

Ces submersions ont provoqué un fort lessivage et une dessalinisation nette des couches superficielles. Les résultats des analyses des eaux d'inondation permettent de remarquer deux faits :

- 1° le rapport Cl / Na , dans le cas des deux inondations observées, est le même que celui observé dans l'eau de mer;
- 2° le rapport Na / K est voisin, mais légèrement supérieur, à celui de l'eau de mer.

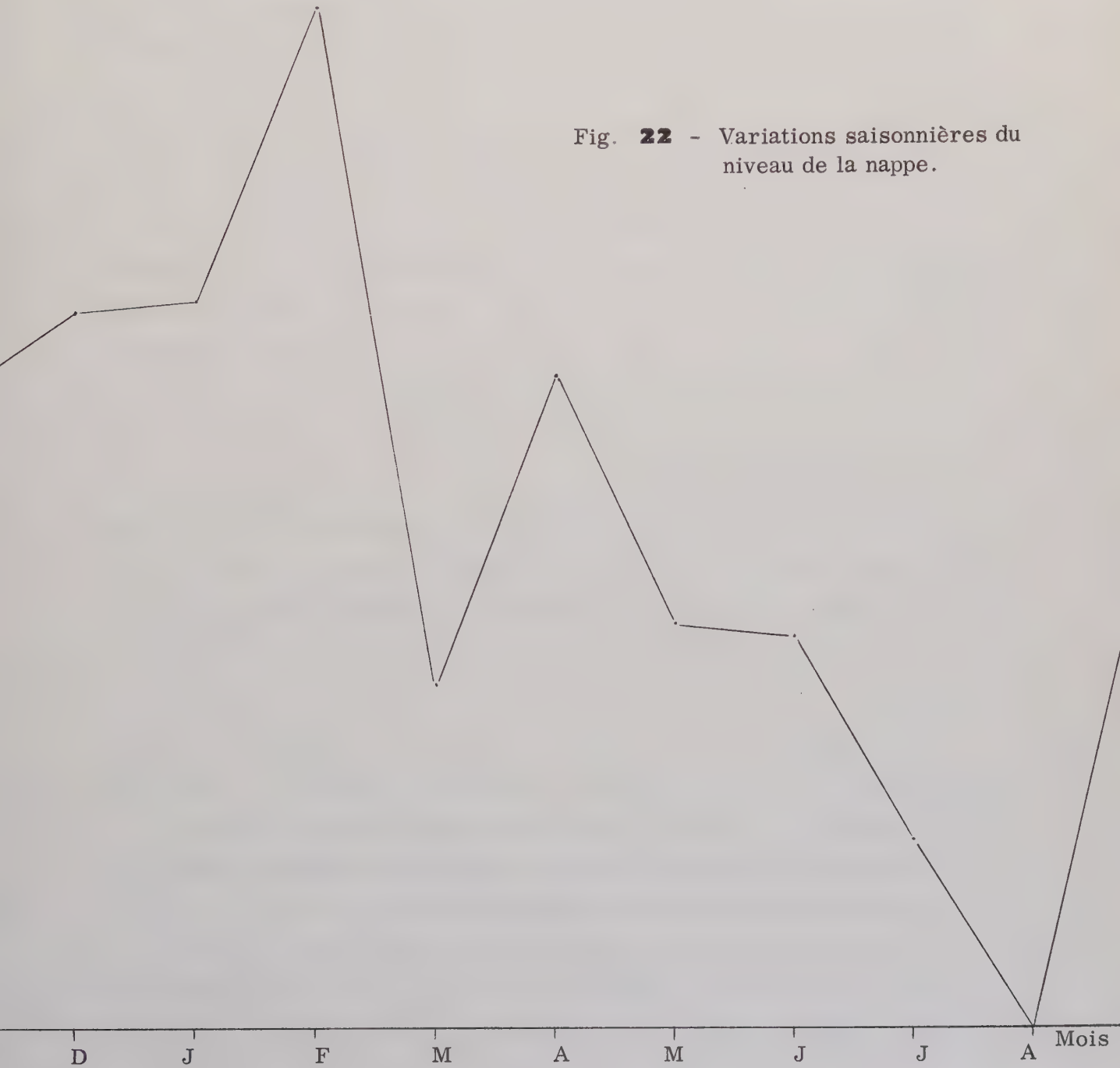
La légère augmentation du rapport Na / K , que nous avons mis en évidence, n'a pas encore pu être expliquée; elle est peut-être due à la fixation du K^+ par le sol.

Nous verrons ultérieurement que ces rapports n'auront plus les mêmes valeurs dans l'eau de la nappe et dans l'extrait aqueux du sol.

ÉTUDE DE LA NAPPE

Notre étude sur le régime hydrique souterrain de cette station porte sur la période allant de novembre 1965 à novembre 1966.

Les variations de la profondeur et de la salinité de la nappe, pendant cette période, sont représentées dans les figures N^{os} **22** et **23**.



La figure N° **22** montre les variations du niveau de la nappe pendant l'année, la plus grande profondeur était 80 cm, en août. On voit que pendant les saisons pluvieuses, la nappe est montée jusqu'à 18 cm de la surface. A cette époque, les racines les plus profondes sont totalement baignées dans l'eau, dont la salinité est alors de 74,71 g/l, ce qui est un taux assez élevé.

La vie des racines qui sont ainsi noyées dans la nappe salée pendant une durée que nous n'avons pu préciser, mais qui a été de l'ordre d'une vingtaine de jours, ne paraît pas être affectée par ce séjour dans l'eau salée. Nous avons, en effet, constaté par des écrasements des méristèmes radiculaires que les cellules sont parfaitement vivantes, se divisant au même rythme que les racines plus hautes à l'abri de l'inondation. La fréquence des mitoses nous a paru sensiblement la même dans les deux cas.

Après la descente de la nappe, les racines noyées ont continué à vivre d'une façon apparemment normale.

Ces observations montrent que les racines supportent, au moins pendant une courte période, le séjour prolongé dans l'eau fortement salée.

La figure N° **23** illustre également les variations de la salinité de la nappe, variations qui ont faible amplitude et oscillent entre 74,71 g/l (en janvier) et 88,14 g/l (en mars).

La comparaison des variations du niveau et de la salinité de la nappe montre qu'il existe des corrélations entre elles. Au moment de la remontée du niveau, il y a une légère baisse dans la salure et inversement.

Mais, il est remarquable que les variations de la salinité ne sont que peu influencées par rapport aux variations du niveau.

Les mouvements de la nappe dans le profil sont accompagnés par une légère modification de teinte des horizons du sol : une couche jaune grisâtre se déplace dans le profil avec la nappe. En plus, des observations relatées

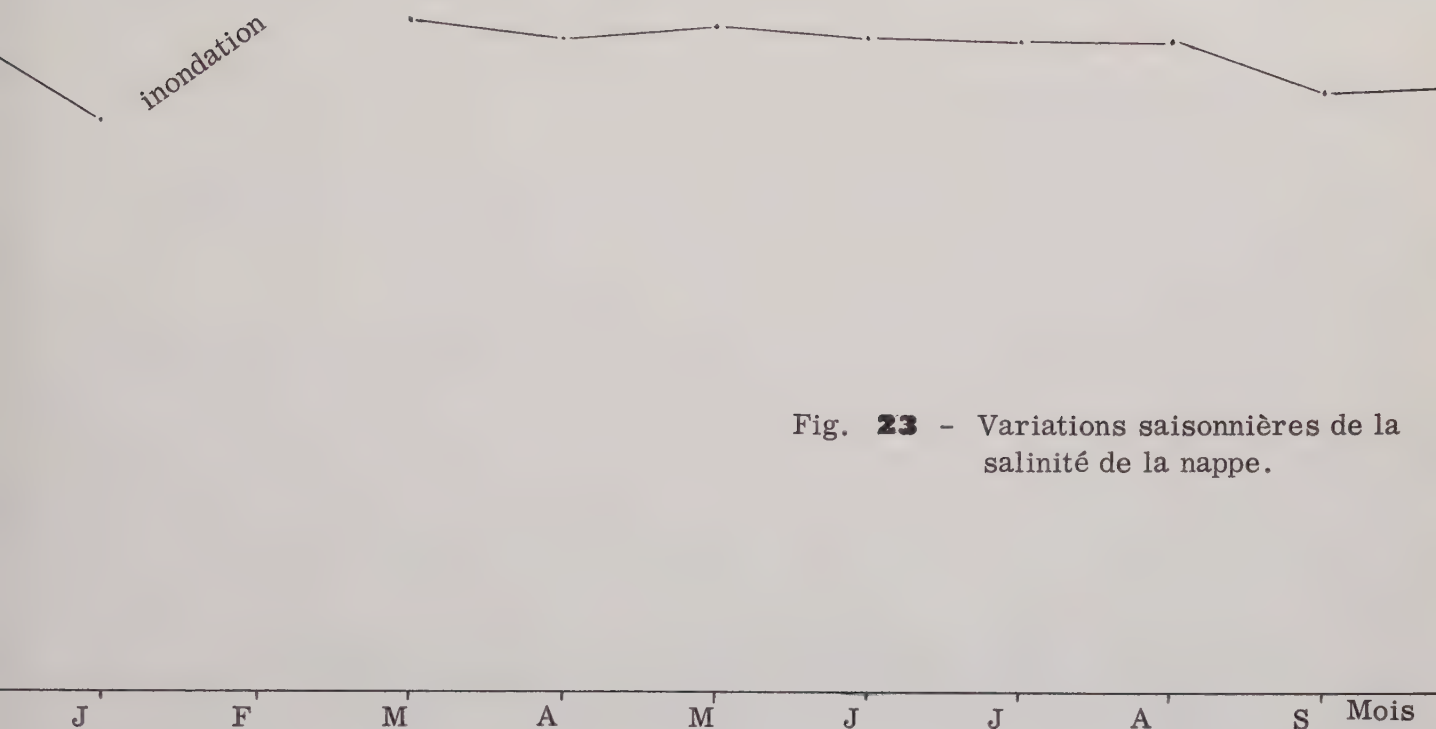


Fig. **23** - Variations saisonnières de la salinité de la nappe.

plus haut, nous avons fait des mesures de la salinité totale et suivi les variations de la teneur en Cl^- , Na^+ , K^+ de la nappe au cours de l'année. Les résultats sont illustrés sur la figure N° **24**.

On constate, d'après cette figure, qu'il existe un parallélisme net entre les variations de teneur en ces ions. Les courbes de leurs variations sont semblables à celles de la salinité totale. Cette représentation ne permettant pas de préciser les détails de ces variations, pour les mêmes raisons que dans la station précédente de l'Espiguette, nous avons examiné les variations des rapports de ces éléments entre eux qui se sont montrées très instructives.

Le rapport Cl/Na par exemple, a une valeur égale à 1,19. Il ne subit pas de variations sensibles au cours de l'année.

3000 m.val./l

2000

1000

inondation

100

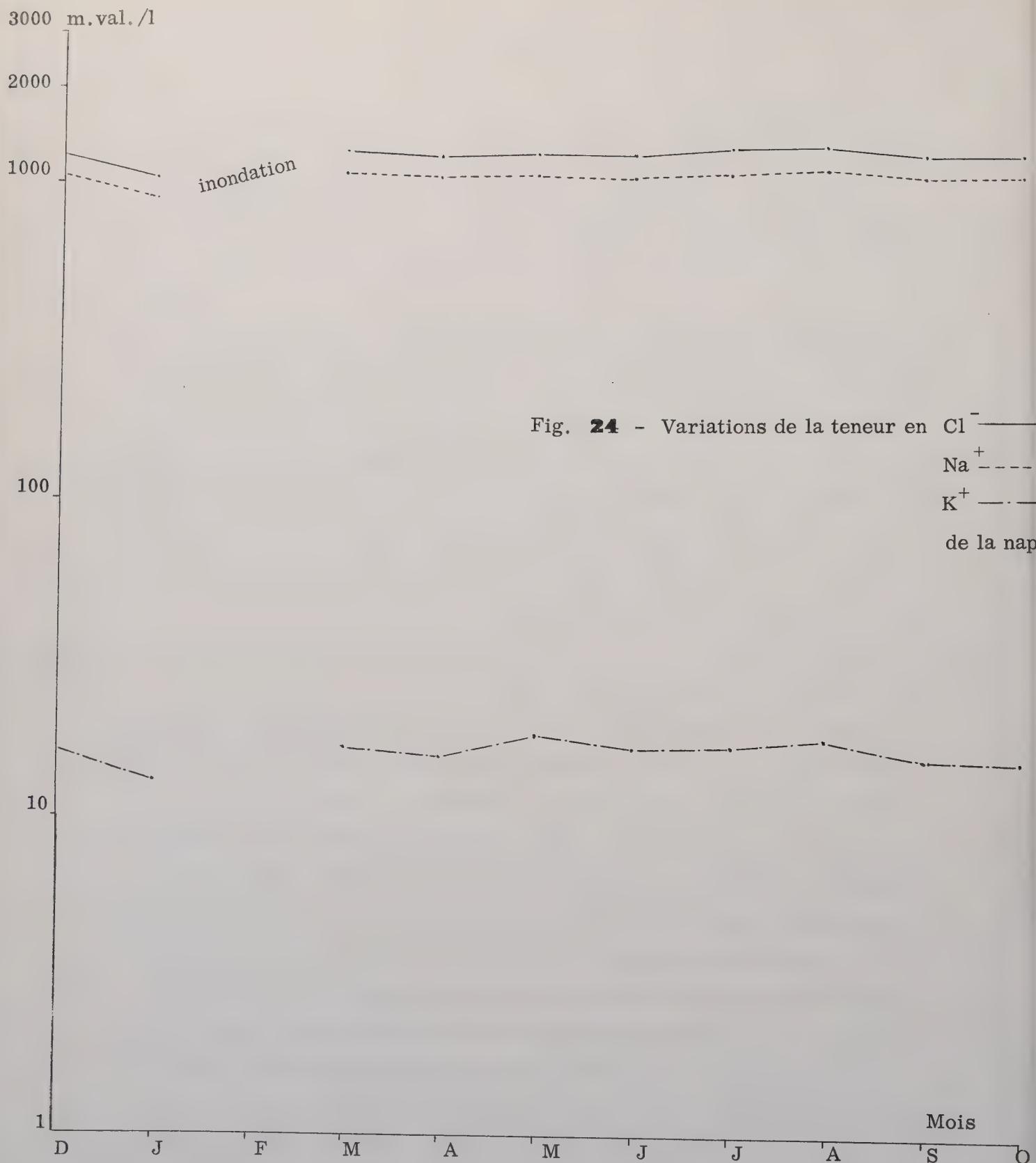
10

1

Fig. 24 - Variations de la teneur en Cl^- —
 Na^+ - - -
 K^+ — · —
 de la nap

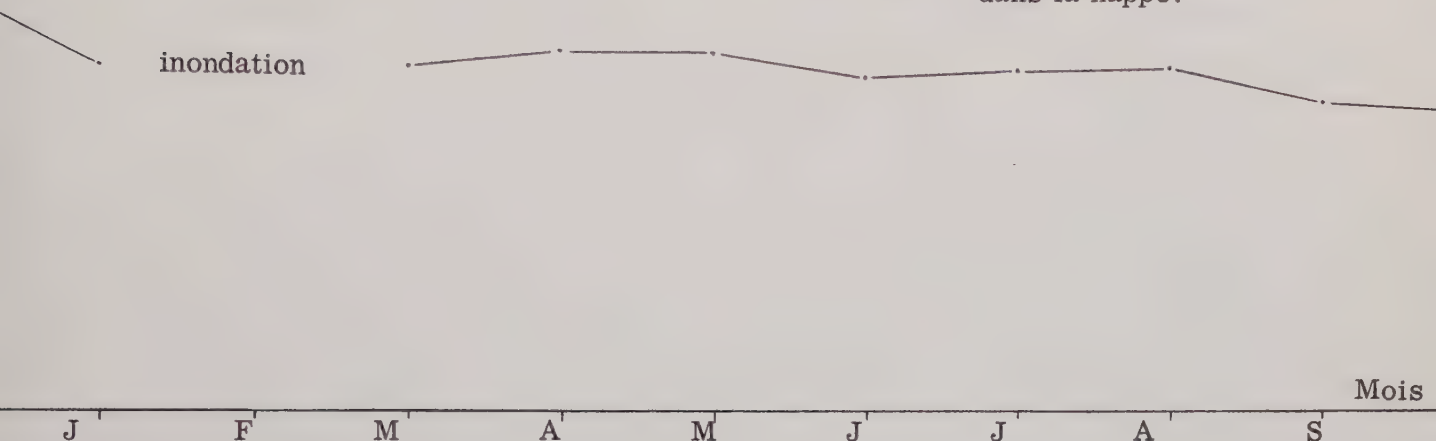
Mois

D J F M A M J J A S O



Le rapport Na / K par contre, subit de très faibles fluctuations qui sont représentées sur la figure N° **25**.

Fig. **25** - Variations du rapport Na / K dans la nappe.



La comparaison des variations de la salinité et du rapport Na / K dans la nappe (figures N°^{os} **23** et **25**) suggère qu'il existe certaines corrélations entre elles.

Comme à l'Espiguette, la remontée de la salinité provoque une augmentation de ce rapport et inversement. L'hypothèse concernant les variations du rapport Na / K dans la nappe, et que nous avons donnée pour la station de l'Espiguette, semble être valable aussi pour celles de la crique de l'Angle. En effet, on peut penser que la baisse du rapport Na / K , au moment de la dilution de la salure de la nappe, serait due à l'infiltration d'eaux de submersion qui sont proportionnellement plus riches en K^+ (le rapport Na / K dans l'eau de submersion variant entre 47 et 55, alors qu'il est de 64 à 67 dans la nappe).

Au mois d'octobre 1966, lors de l'inondation de la station, nous avons prélevé des échantillons de la nappe profonde, grâce aux tubes piézométriques préalablement installés.

Les résultats de l'analyse faite en octobre qui sont donnés dans les figures N^{os} **24** et **25** montrent que, malgré la submersion de la surface par de l'eau peu salée, ne contenant que 34 g/l de sels totaux, la salure totale de la nappe et les rapports entre les ions dissous n'avaient pas changé à 80 cm de profondeur. On peut même avancer, bien que nous n'ayons pas pu faire les mesures après l'inondation, qu'ils restent invariables comme nous avons pu le constater dans les deux autres stations dont nous parlerons.

La salinité de la nappe, à 80 cm de profondeur, était trois fois plus élevée que celle de l'eau de submersion; l'infiltration par l'eau d'inondation n'avait à cette profondeur aucun effet sur elle. Malheureusement, il ne nous a pas été possible de prélever des échantillons d'eau de la nappe à des profondeurs variées en vue de déterminer à quelle distance de la surface cesse l'influence de la submersion. Les essais que nous avons faits ont échoué. Mais, il est néanmoins intéressant d'avoir constaté que l'eau d'infiltration ne se mélange pas avec la nappe, mais se superpose simplement sur elle sous forme de couches d'eau peu salée.

Les travaux récents de J.A. RIOUX, J.J. CORRE et HEURTAUX, tous encore inédits, ont confirmé ce que nous avons observé. Les conclusions que l'on peut tirer de ces observations sont extrêmement importantes pour l'explication de la stratification des racines, puisqu'au moment des inondations où l'ensemble du profil est gorgé d'eau, les couches superficielles restent en dehors de l'atteinte par la nappe profonde très salée; c'est donc uniquement l'eau percolante de surface qui les baigne. Même si les eaux profondes et la surface se mélangeaient, ce ne serait que très imparfaitement, de sorte que de toute façon, les racines se trouveraient toujours dans de l'eau peu salée.

Il s'en suit que la zone d'abondance des racines n'est pratiquement jamais atteinte par la nappe.

L'étude du régime hydrique permet ainsi de différencier les couches superficielles contenant les racines des horizons inférieurs qui sont dépourvus de racines.

HUMIDITÉ

Les variations de la teneur en eau de différents horizons du profil ont été illustrées sur la figure N° **26**. L'examen de cette figure permet de constater que l'amplitude des variations de l'humidité est beaucoup plus grande dans l'horizon superficiel (0 à 4 cm) que dans les autres couches du profil. Elle oscille entre 80 % (en janvier) et 42 % (en août).

Les variations de la teneur en eau des horizons inférieurs sont faibles, et elles ont une amplitude moins grande. La comparaison de la courbe N° 2 qui a trait à la zone d'abondance de racines et la courbe N° 3 d'un des horizons dépourvu de racines, montre que les teneurs en eau de ces deux horizons sont pratiquement les mêmes, surtout pendant l'été.

La couche qui est de 20 à 35 cm de profondeur, dépourvue de racines, était engorgée par la nappe jusqu'au mois de mars, et pendant l'été, son humidité était voisine et même très légèrement supérieure à celle de l'horizon d'abondance de racines.

Ainsi, les variations de l'humidité ne semblent pas différencier les horizons superficiels des couches inférieures, et le facteur eau ne paraît pas jouer un rôle déterminant dans la stratification des systèmes radiculaires.

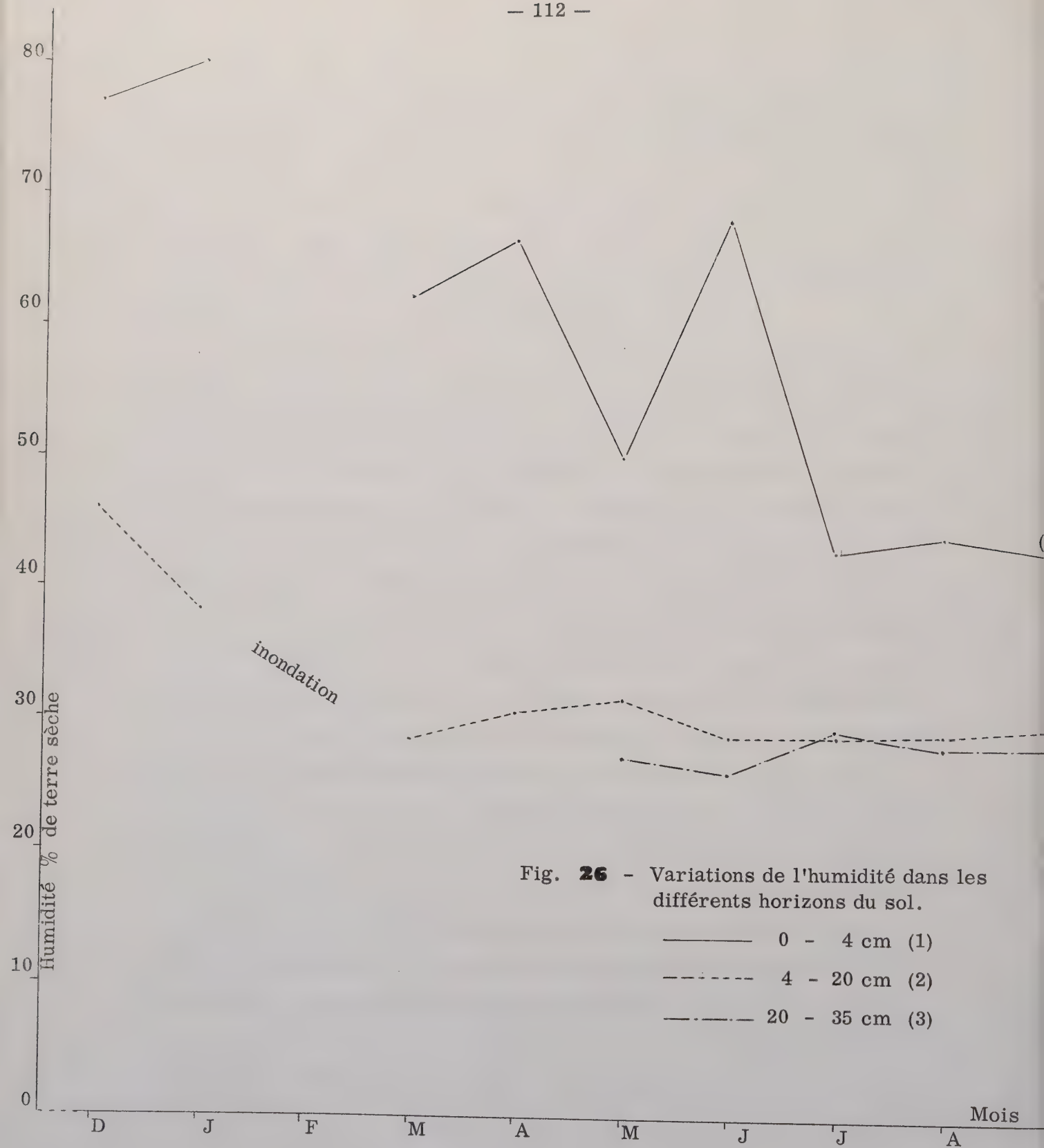


Fig. 26 - Variations de l'humidité dans les différents horizons du sol.

- 0 - 4 cm (1)
- - - 4 - 20 cm (2)
- . - 20 - 35 cm (3)

SALINITÉ

● VARIATIONS QUANTITATIVES

Les variations saisonnières de la teneur en sels solubles des différentes couches du profil sont représentées sur la figure N° **27**. Celle-ci montre que l'amplitude des variations de la salinité est très grande dans l'horizon superficiel de 0 à 4 cm. La teneur en sels solubles y varie entre 16,68 g/kg (en mars) et 111,26 g/kg (en août).

La cristallisation du sel à la surface du sol apparaît à partir du mois de juin; il en résulte que les valeurs obtenues par les dosages pour la salinité totale ne représentent pas la quantité des sels dissous dans la solution du sol, puisqu'elles incluent la partie cristallisée des sels contenus dans cette couche.

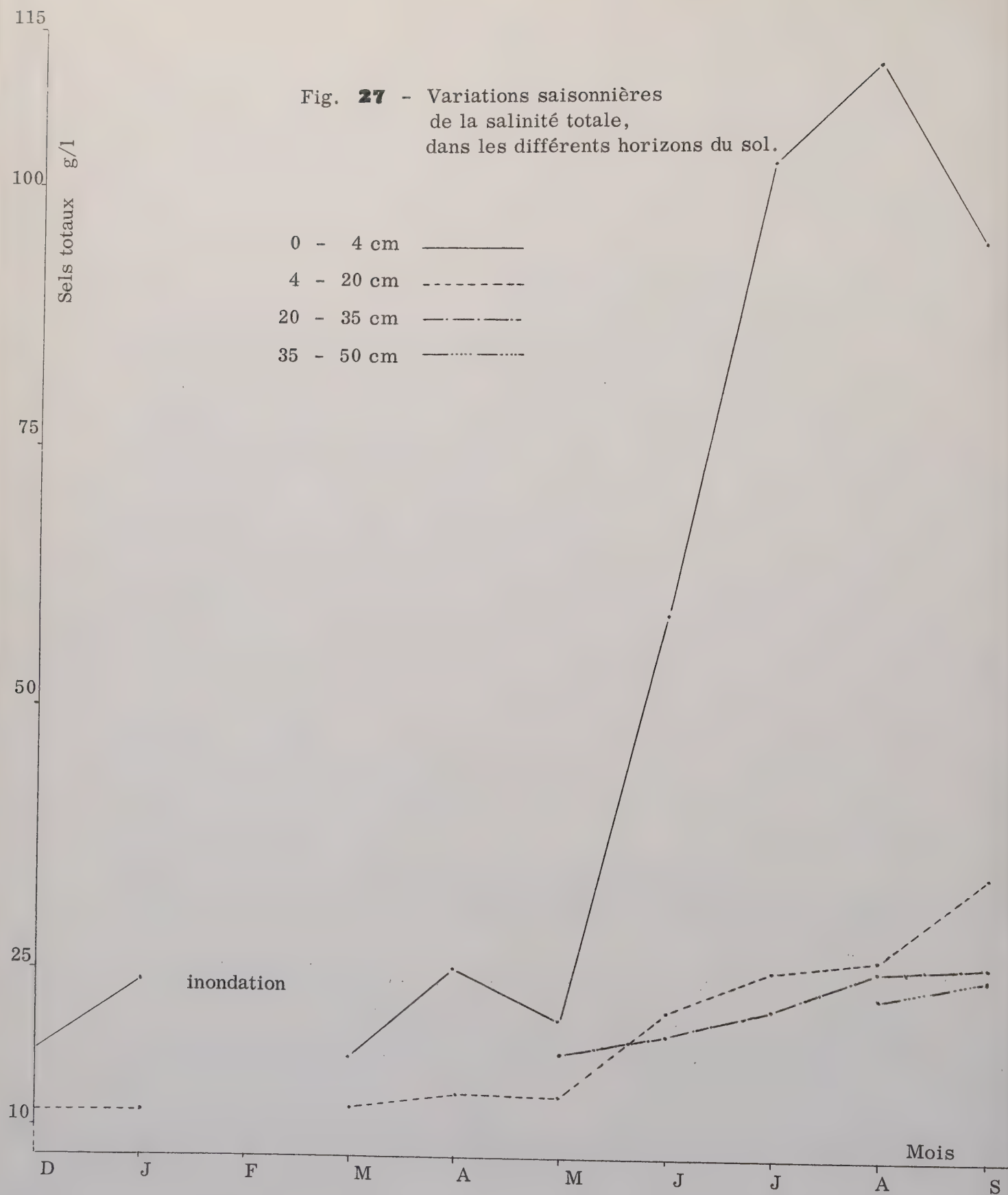
L'amplitude des variations de la teneur en sel est de plus en plus faible dans la profondeur.

L'horizon 4 à 20 cm (zone de la localisation des racines) est marqué par une salinité qui varie entre 10,7 g/kg (en janvier) et 28,61 g/kg (en septembre).

La salinité des couches inférieures (20 à 35 cm et 35 à 50 cm), dépourvues de racines, a été moins élevée que celle de l'horizon d'enracinement.

La couche 20 à 35 cm est, à son tour, plus salée que la couche 35 à 50 cm pendant les mois d'août et de septembre.

Pendant la saison sèche, il existe donc un gradient décroissant de la salinité dans la profondeur.



L'étude des variations de la salinité des différents horizons permet de remarquer deux faits suivants :

1° L'engorgement, même prolongé des deux couches du sol, celle de 20 à 35 cm et celle de 35 à 50 cm, la première étant saturée d'eau pendant 5 mois et la seconde pendant 8 mois, ne modifie pas sensiblement la salinité de ces horizons.

En effet, on voit d'après la figure N° **27** que la teneur en sels totaux de l'horizon 20 - 35 cm, au mois de mars, immédiatement après la descente de la nappe et celle de la couche 35 - 50 cm au mois d'août, c'est-à-dire après la descente de la nappe, ont été très voisines de la salure des horizons qui les surmontent.

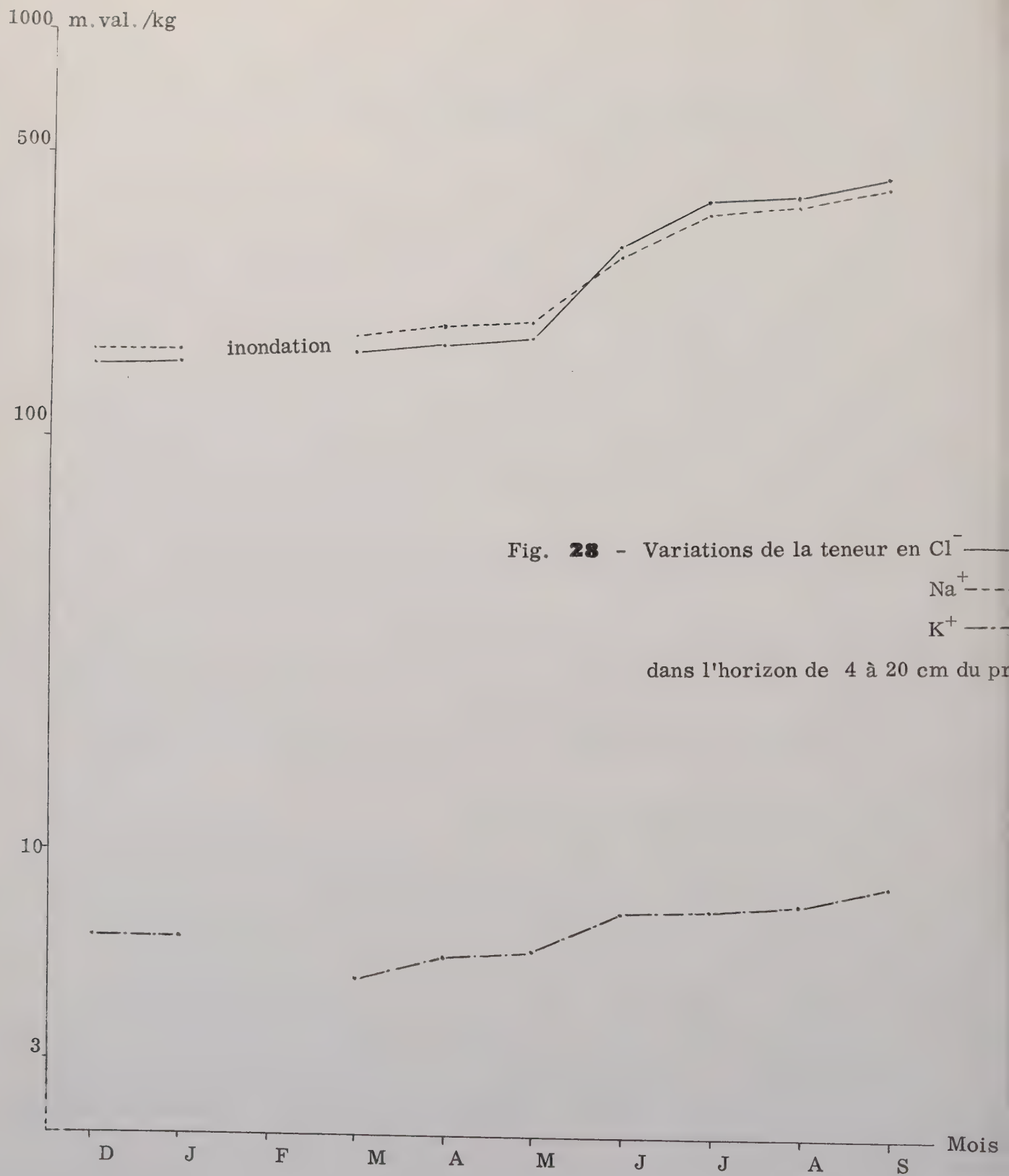
Ce même fait a été observé également dans les autres stations.

2° En ce qui concerne la zonation des racines, on constate que la localisation des systèmes radiculaires n'est pas en rapport avec le minimum de la salinité. Ce qui est caractéristique, c'est que la salure de la zone d'abondance des racines a une concentration plus stable par rapport aux autres couches.

● VARIATIONS QUALITATIVES

Nous avons suivi, pendant la période de notre étude, les variations de la teneur en Cl^- , Na^+ et K^+ de différents horizons du profil, afin de pouvoir mettre à jour les variations de leurs proportions dans les sels solubles.

Nous représentons sur la figure N° **28** les variations de la teneur en ces éléments pour la couche superficielle 4 à 20 cm qui est celle où les racines abondent. Cette figure montre que les variations des ions sont parallèles et que le sens de leur variation quantitative est identique à celle des fluctuations de la salinité totale.

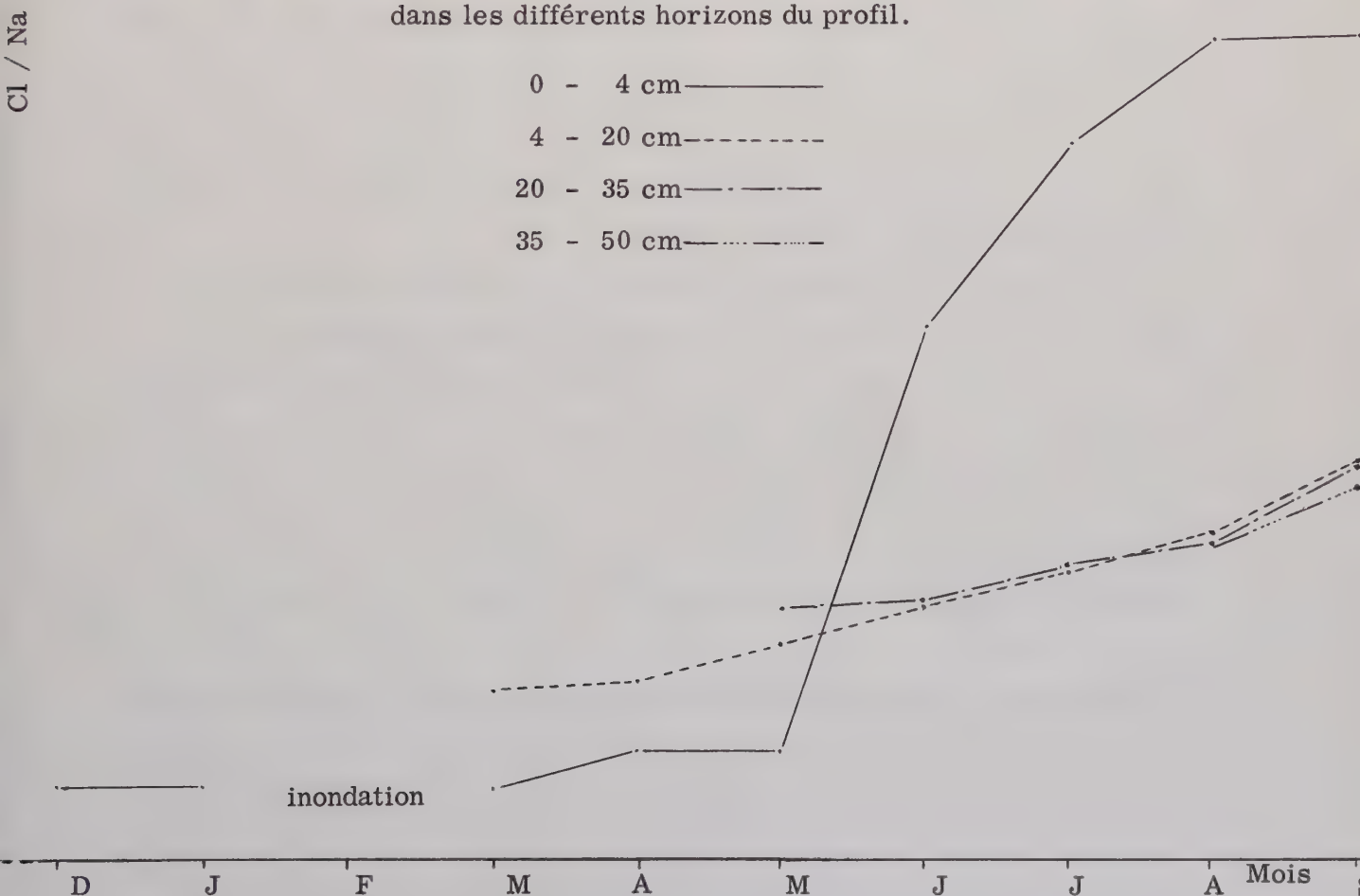


Pour élucider les variations de proportions de ces éléments d'une façon concrète, nous avons calculé les rapports de Cl/Na et Na/K pour les différents horizons examinés.

= Le rapport Cl/Na ne subit de variations sensibles que dans la couche superficielle.

La figure N° 29 les illustre.

Fig. 29 - Variations du rapport Cl/Na dans les différents horizons du profil.



La comparaison des figures N^{os} **27** et **29** suggère qu'il y a certaines relations entre les variations de la salinité et celles du rapport Cl/Na. La remontée du sel semble augmenter le rapport Cl/Na dans le sol. La valeur de ce rapport est à sa limite minimale pendant la période de la dessalinisation du sol, et à sa limite maximale pendant l'été. Ces variations conduisent à formuler l'hypothèse suivante :

La composition granulométrique du sol de cette station favorise la formation d'un complexe adsorbant qui fixe des ions Na^+ . La dilution des sels au moment de l'extraction provoque la libération d'une partie qui entre dans l'extrait aqueux et modifie ainsi la proportion du Na^+ dans ce milieu.

Quand le sol est dessalinisé, l'influence des ions Na libérés est de plus en plus sensible, et l'on assiste à une forte baisse du rapport Cl/Na, par contre, quand la teneur en sels du sol augmente, la modification de la proportion du Na^+ dans l'extrait aqueux est moins sensible. On observe ainsi une remontée de la valeur du rapport Cl/Na.

L'on peut même penser que la remontée du sel freine la libération des ions Na^+ , ce qui est également compatible avec nos observations.

= Le rapport Na/K subit des variations sensibles au cours des saisons et dans l'espace, c'est-à-dire suivant la profondeur du sol. Ces variations ont été représentées dans la figure N° **30**. La comparaison de cette figure avec celle des variations saisonnières de la salinité totale, montre que les variations du rapport Na/K semblent être en rapport avec les mouvements des sels solubles.

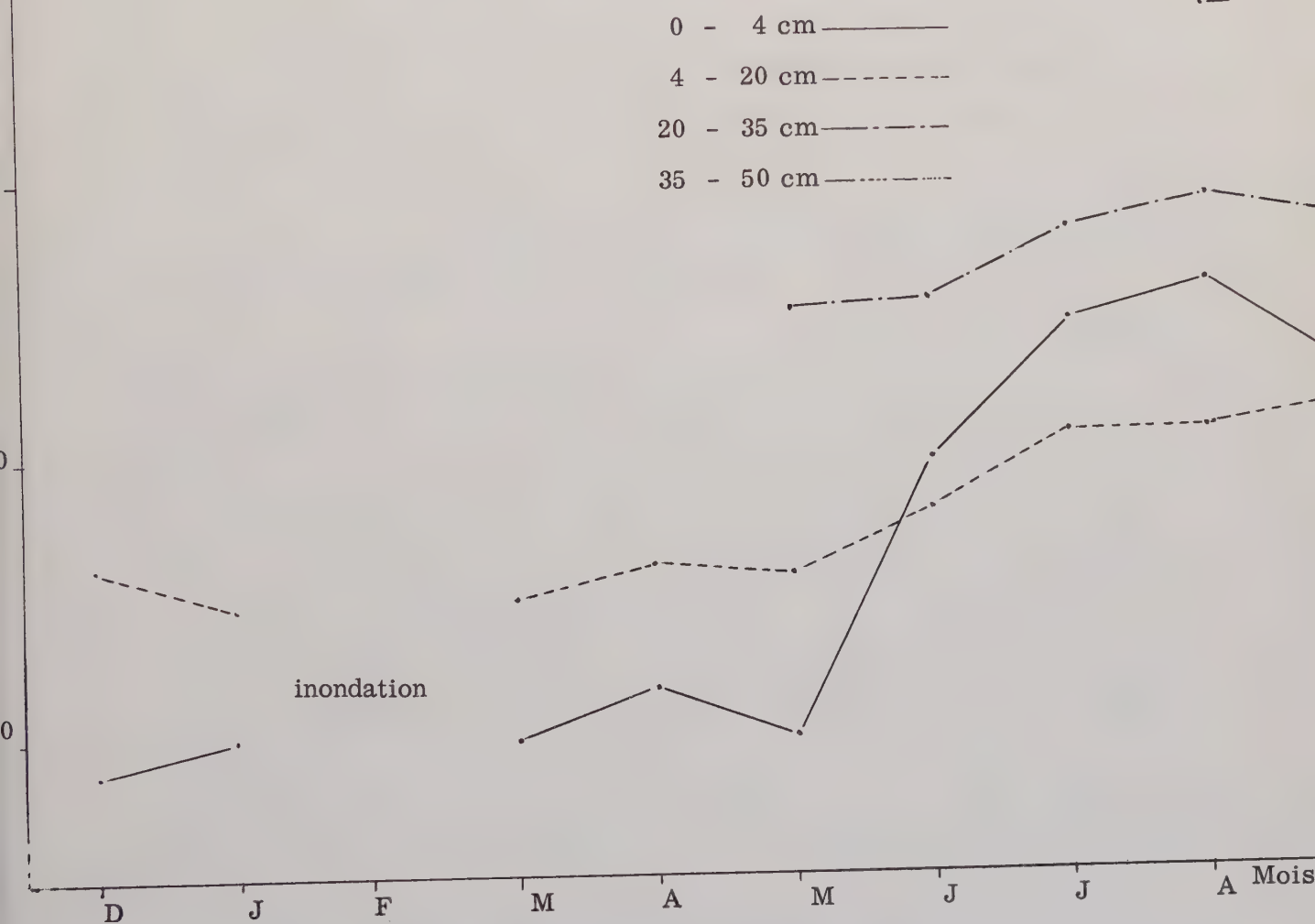
Nous avons constaté qu'un certain parallélisme entre ces deux variations existe dans tous les horizons.

La remontée de la salure augmente le rapport Na/K et inversement. On pourrait penser que cette augmentation du rapport Na/K est due à la diminution de la proportion du K^+ en cours de saison. En effet, les sels

Na / K

Na/K dans la nappe

Fig. 30 - Variations du rapport Na / K dans les différents horizons du profil.



provenant de la nappe semblent être moins riches en K^+ car le rapport Na / K dans la nappe au cours de l'année d'observation, est plus élevé que dans le sol (67 dans la nappe contre 42 dans le sol).⁽¹⁾

(1) Maximum observé dans l'horizon d'enracinement.

D'autres phénomènes interviennent probablement encore dans les variations de ce rapport, mais quelle qu'en soit l'explication, la constatation elle-même des variations est particulièrement intéressante. Elle montre, en effet, qu'en cours de saison, il y a des variations dans les proportions des constituants de la salinité.

L'examen des variations du rapport Na / K dans les horizons du profil est également important. Il montre, d'après la figure N° 30, que pendant toute l'année, les valeurs du rapport Na / K ont été moins élevées dans les horizons supérieurs que dans les couches inférieures.

Il existe, en général, un gradient croissant du rapport Na / K de la surface vers la profondeur.

Il est vraisemblable que l'augmentation du rapport Na / K en profondeur soit due à la diminution de la proportion du K^+ (puisque la proportion du Na^+ n'augmente pas en fonction de la profondeur). Les horizons superficiels contenant les racines sont caractérisés par une proportion plus élevée du K^+ (dans les sels solubles) que les couches dépourvues de racines.

Sur la figure N° 30 nous avons représenté également la valeur du rapport Na / K dans la nappe. On remarque^{que} les valeurs du rapport Na / K de la nappe et du sol se rapprochent en relation avec la profondeur du sol.

Les données concernant les variations du rapport Na / K pendant la période de juin à septembre ont fait l'objet d'une analyse statistique; il en est résulté que :

- les différences entre des valeurs du rapport Na / K des horizons ne sont pas significatives;
- les variations saisonnières sont également non significatives.

On remarque, d'après la figure N° 30 que pour les mois pour lesquels l'analyse statistique a pu être faite, les variations du rapport Na / K et les

différences entre les horizons sont très atténuées par rapport à celles que nous avons observées les autres mois de l'année. Il est donc probable, que dans l'ensemble de l'année, ces variations soient significatives.

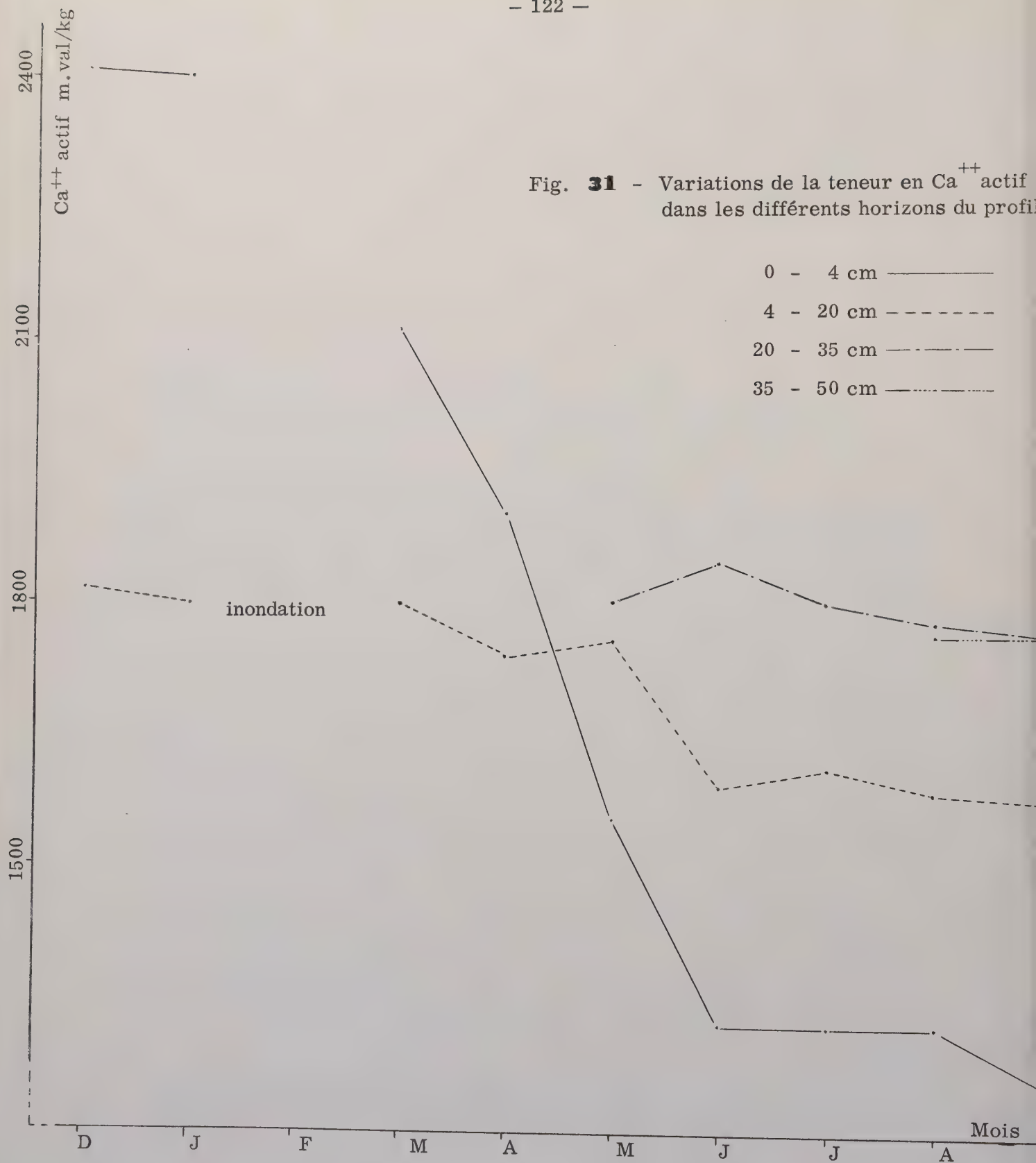
ÉTUDE DU CALCIUM ACTIF

Les variations de la teneur en Ca^{++} actif des différents horizons du sol sont représentées sur la figure N° 31.

On y remarque que l'amplitude des variations du Ca^{++} actif est beaucoup plus grande dans la couche superficielle que dans les autres horizons. L'horizon superficiel de 0 à 4 cm est le plus riche en Ca^{++} actif pendant l'hiver, et le moins riche pendant l'été. A partir du mois de mai, on observe un gradient croissant du Ca^{++} actif de la surface vers la profondeur.

Les données, observées pendant la période de juin - septembre 1966, ont été statistiquement analysées⁽¹⁾. L'analyse statistique porte sur une période où les variations du Ca^{++} actif sont considérablement atténuées dans tous les horizons, surtout dans l'horizon superficiel. Cette dernière analyse a permis de mettre en évidence que, pendant cette période, les variations saisonnières du Ca^{++} actif ne sont pas significatives dans tous les horizons et qu'il existe des différences significatives entre la teneur en Ca^{++} actif de l'horizon superficiel (0 à 4 cm) et les autres couches du profil. De plus, la teneur en Ca^{++} actif de l'horizon de 4 à 20 cm. (zone d'enracinement), n'est pas significativement différente de celle des couches sous-jacentes.

(1) Les raisons du choix de cette période ont été déjà expliquées page 87.



Remarque :

Si l'on avait pu étendre l'analyse sur les données de l'année, on aurait sans doute obtenu des différences significatives dans les variations saisonnières.

En effet, on voit dans la figure N° **31** que les variations saisonnières du Ca^{++} actif sont très accentuées dans notre station, notamment dans la couche superficielle de 0 à 4 cm.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉTUDE
DE LA STATION DE LA CRIQUE DE L'ANGLE

1° L'étude de la répartition des systèmes racinaires de la végétation de cette station, et plus particulièrement celle d'Arthrocnemum fruticosum, nous a montré une stricte localisation des racines dans les couches superficielles du sol. Le comportement de l'appareil racinaire d'A. fruticosum dans cette station se distingue ainsi nettement de celui des individus des autres stations et notamment de la plante de l'Espiguette.

2° Sur le plan des différences qualitatives de l'appareil racinaire d'A. fruticosum des deux stations, il y a une proportion nettement plus élevée de racines adventives chez la plante de la crique de l'Angle.

Du point de vue des caractères quantitatifs, la différence consiste en une nette diminution de la surface d'extension des racines chez les individus de la crique de l'Angle.

3° Nous avons constaté l'existence de corrélations entre le mode de l'extension des racines et les différents types de texture du sol.

4° De la recherche des déterminants de la structure des systèmes radiculaires, nous pouvons conclure que les couches superficielles, contenant les racines, se différencient des horizons inférieurs, dépourvus de racines, par plusieurs caractères :

a) Les couches inférieures sont engorgées par une nappe très salée, pendant une période très longue, tandis que les couches supérieures ne sont pratiquement pas atteintes par la nappe.

b) L'étude de la salinité du sol nous a montré que la répartition des racines n'est pas en rapport avec le minimum de la salinité. La salure des horizons inférieurs dépourvus de racines est très souvent légèrement, mais toujours inférieure à celle des zones d'enracinement. Il nous semble donc que la variation quantitative de la salinité ne permet pas d'expliquer la localisation des systèmes radiculaires.

En ce qui concerne les éléments les plus importants de la salure (Na et K), nous avons remarqué des variations importantes du rapport Na / K. Les horizons supérieurs du profil semblent être proportionnellement plus riches en K^+ .

c) Les couches superficielles du sol sont nettement mieux aérées que les parties profondes; les couches dépourvues de racines sont très compactes, la porosité totale dans ces horizons est même inférieure à 40 %.

CHAPITRE III

GÉNÉRALITÉS SUR LES DEUX STATIONS DU MARAIS DE LA GRANDE PALUDE

LE MARAIS ET SA VÉGÉTATION

Le marais de la Grande Palude est relié à la mer par l'intermédiaire de deux autres marais. De nombreuses résurgences y conduisent l'eau de pluie de la région environnante, et, de ce fait, ces marais sont inondés pendant une longue période.

Le marais qui a fait l'objet de nos recherches est submergé pendant huit mois de l'année.

La communication avec la mer déterminera, au cours des inondations, un enrichissement progressif en sels jusqu'au moment de la dessiccation. Ces conditions générales déterminent une végétation typiquement marécageuse; la majeure partie est constituée par des peuplements à Scirpus maritimus L., Juncus subulatus Forssk. et de Juncus maritimus Lam.

Au milieu de cette végétation marécageuse, il y a un grand flot de 2 000 m² environ d'Arthrocnemum fruticosum et d'Arthrocnemum glaucum qui couvrent une petite partie de la station. La figure N° 32 illustre sa localisation.

Dans cette tache, les deux espèces ne sont pas réparties d'une manière homogène. Dans un secteur, A. glaucum est dominant à 95 %, dans l'autre, le plus important c'est A. fruticosum, également à 95 %.

La partie occupée par le groupement à A. glaucum dominant couvre la surface d'un cercle de 80 m environ de diamètre; dans sa partie centrale, la végétation est uniformément composée d'A. glaucum. Au fur et à mesure qu'on s'éloigne du centre, A. fruticosum s'introduit dans la tache.

La périphérie du cercle d'A. glaucum, surtout dans la moitié sud-ouest, est peuplée par un groupement mixte des deux espèces et assure la transition vers la partie occupée par A. fruticosum dominant.

La partie de la tache peuplée par A. fruticosum dominant se trouve dans le sud-ouest de celle d'A. glaucum. Elle est étroitement soudée au cercle d'A. glaucum. Sa largeur est variable selon les directions. Elle est entourée, à son tour, par les peuplements des espèces marécageuses proprement dites précitées. Le passage entre les deux Arthrocnemum d'une part, et entre l'flot des Arthrocnemum et la végétation marécageuse d'autre part, est progressif.

Avant d'entreprendre l'étude de l'écologie et de l'enracinement des Arthrocnemum, nous avons recherché les causes de la cohabitation des divers peuplements végétaux qui couvrent le marais.

Il y a des causes topographiques et celles dues au régime hydrique souterrain.

SITUATION DES STATIONS DANS LE MARAIS DE LA GRANDE PALUDE



Fig. 32

● CAUSES TOPOGRAPHIQUES

La topographie de la station montre que les surfaces occupées par les différents peuplements végétaux se différencient nettement par leur position. Le marais n'est pas une surface plane, il présente une légère pente (de l'ordre de 0,3 %) orientée nord-est — sud-ouest. Cette pente légère détermine la hauteur et la durée de submersion de diverses parties du marais.

En plus de la variation topographique, la partie occupée par les Arthrocnemum est relativement surélevée. Nous avons représenté sur la figure N° **33 a** un profil à travers tous les peuplements présents dans le marais. On y remarquera une nette concordance entre les variations topographiques et les changements de végétation. Le peuplement à A. glaucum dominant occupe la partie la plus surélevée où la hauteur de submersion ne dépasse pas 6 à 10 cm. Le peuplement à A. fruticosum dominant s'installe, par contre, dans la partie où la hauteur de submersion est comprise entre 16 - 25 cm.

● CAUSES DUES AU RÉGIME HYDRIQUE SOUTERRAIN

Nous avons étudié ce facteur au mois de septembre 1966, le long d'une ligne (A B de la figure N° **32**) joignant la partie la plus haute (domaine d'A. glaucum) à la région périphérique (point B) du marais en passant par tous les groupements existant dans cette localité. Sept puits ont été creusés à des distances d'environ 80 m les uns des autres. La figure N° **33 b** schématise leur position ainsi que le niveau du plan d'eau.

Le niveau du plan d'eau semble avoir une position horizontale dans le marais et ne subit pas les variations topographiques de la surface. A mesure que l'on se rapproche de la partie haute, la profondeur de la nappe augmente.

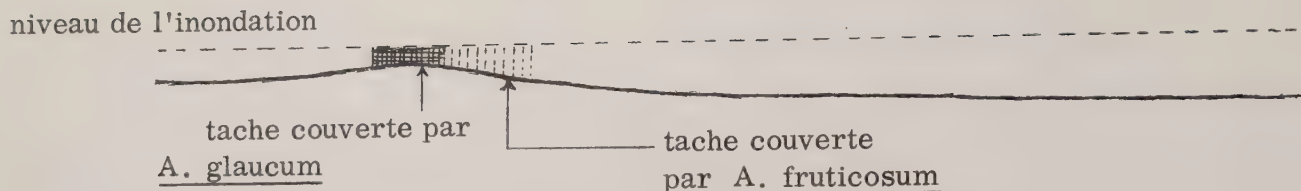


Fig. 33 a - Localisation des peuplements à *Arthrocnemum* dans le marais.

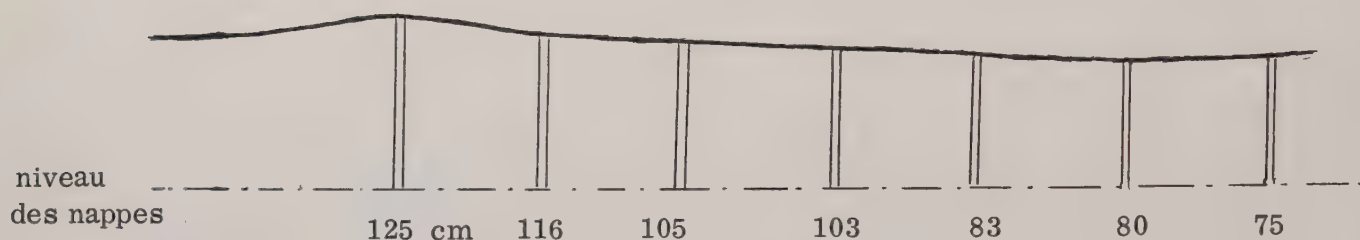


Fig. 33 b - Localisation des puits creusés dans le marais.

Les échantillons prélevés dans ces puits ont été analysés, et les résultats sont résumés dans le tableau N° 11 et les figures N^{os} 34 et 35; on constate d'abord, qu'il y a une augmentation plus ou moins régulière de la salinité de la nappe, quand on se rapproche de la partie haute du marais. Cette augmentation est très brusque (puits 2 et 1) à la limite du passage du peuplement à A. fruticosum dominant au domaine d'A. glaucum.

En plus de ces variations quantitatives locales de la salure, on observe aussi des variations dans les proportions des constituants de la salinité d'un puits à l'autre. La figure N° 35 montre que le rapport Na/K est très élevé dans les nappes fortement salées et, à mesure que la salinité de la nappe diminue, on observe une baisse dans la valeur de ce rapport.

Par contre, le rapport Cl / Na a pratiquement la même valeur dans les sept puits étudiés.

Tableau N° 11

	Salinité totale g/l	Cl^- m.val/l	Na^+ m.val/l	K^+ m.val/l	Cl / Na	Na / K
Puits n° 1	83,67	1311	967	2,17	1,35	445
" n° 2	46,69	692	521	1,40	1,32	372
" n° 3	43,80	644	489	1,73	1,31	282
" n° 4	36,16	524	400	1,56	1,31	256
" n° 5	36,06	520	391	1,61	1,32	242
" n° 6	28,09	406	307	1,30	1,32	236
" n° 7	25,98	372	279	1,02	1,34	273

Il semble donc que les nappes plus salées sont relativement plus pauvres en K^+ que les nappes moins salées. Il existe, vraisemblablement, des rapports entre la submersion de surface et le régime hydrique souterrain. Dans le cas du marais étudié, on peut constater que la salinité de la nappe est d'autant plus élevée que la hauteur de l'eau d'inondation est plus basse.

Cette même constatation peut être faite en observant les rapports des ions qui constituent la salure de la nappe en différents points marqués par les puits. Nous verrons que l'eau de submersion est proportionnellement plus riche en K^+ que la nappe. Le rapport Na / K y est de 65 jusqu'à 98 suivant la saison alors que pour la nappe, les grandeurs extrêmes étaient 236 et 445 (figure N° 35). Dans les puits les moins salés, le rapport Na / K est sensiblement moins élevé que dans les nappes plus salées. On pourrait penser que cette diminution de la valeur du rapport Na / K dans les nappes

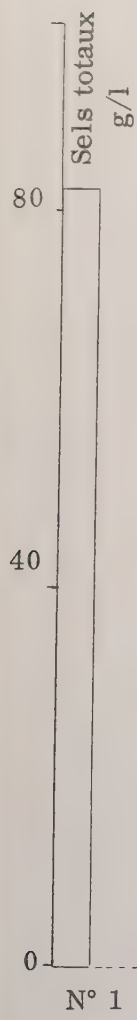


Fig. 34 - Variations de la salinité des nappes dans le marais de la Grande Palude.

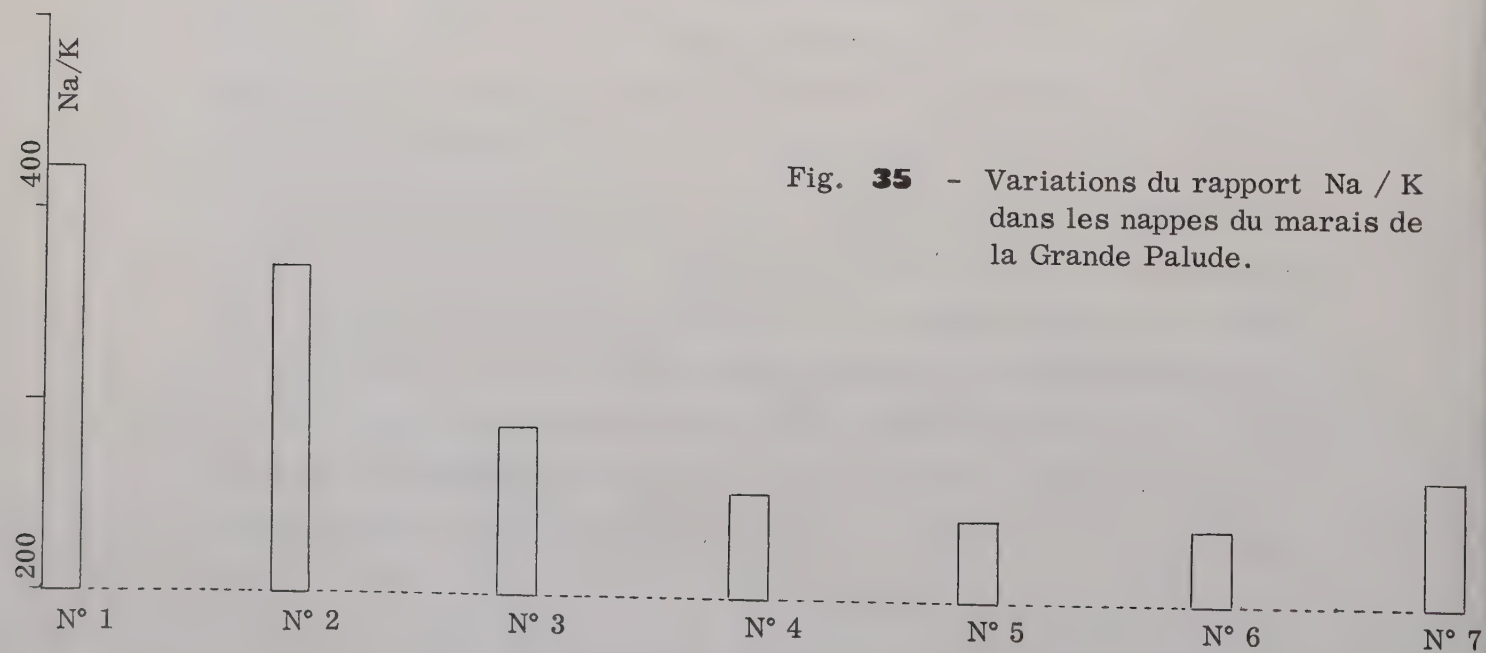


Fig. 35 - Variations du rapport Na / K dans les nappes du marais de la Grande Palude.

diluées est un autre aspect de l'influence de l'eau de percolation provenant de la submersion.

Quelles que soient les causes de ces variations dans les nappes, leur étude nous permet de conclure que la répartition des différents groupements végétaux dans ce marais est en relation avec les variations des facteurs écologiques, les plus importants étant la nappe et la submersion.

La partie occupée par A. glaucum est caractérisée par une nappe fortement salée et la hauteur de l'inondation est peu élevée (83 g/l du sel dans la nappe), 6 - 10 cm de submersion.

A. fruticosum, par contre, occupe des parties dont la salinité de la nappe est inférieure à celle du groupement précédent (46 g/l contre 83 g/l). Elle occupe, en général, les parties où la submersion atteint jusqu'à 25 cm.

NOS STATIONS DANS LE MARAIS DE LA GRANDE PALUDE

Nous avons étudié floristiquement et écologiquement deux stations dans cette localité.

La première se trouve à l'intérieur de la tache d' A. fruticosum dominant. La deuxième au milieu de la partie haute peuplée par A. glaucum. La distance entre les deux stations est d'environ 60 m.

● ÉTUDE FLORISTIQUE DES STATIONS

En plus des deux Arthrocnemum précités, on rencontre dans les deux stations des espèces appartenant surtout à la végétation marécageuse qui

entoure l'flot des Arthrocnemum. Leur abondance est nettement plus élevée dans la première station que dans la seconde. Il faut distinguer les espèces vivaces, existant en permanence, et d'autres annuelles, qui n'apparaissent que pendant la période de dessèchement. Les premières sont :

Juncus maritimus Lam.

Juncus subulatus Forssk.

Scirpus maritimus L.

Limonium vulgare Mill.

Aelorupus littoralis (Gouan) Parl.

A partir du mois de mars, au printemps, les stations étant toujours submergées, un tapis dense de Characées couvre la surface du sol. Les Characées disparaissent à la fin de mai et au début de juin, à la suite du dessèchement, leurs débris forment une couche assez épaisse de litière spongieuse, enrichissant la surface du sol en matière organique. A partir du mois de juin, apparaissent les espèces suivantes :

Suaeda maritima (L.) Dumort.

Polypogon maritimus Willd.

● ÉTUDE DU RÉGIME D'INONDATION

La submersion prolongée est un des caractères les plus importants de l'écologie de cette localité; nous avons vu que ses variations influencent radicalement la couverture végétale. Pendant une année, nous avons suivi les variations de la hauteur et de la salinité de l'eau de submersion. Les résultats obtenus sont représentés sur les figures N^{os} **36** et **37**.

La figure N° **36** montre les variations de la hauteur de l'inondation dans les deux stations étudiées. Les interruptions que l'on observe dans les deux courbes sont dues au gel qui s'est manifesté au mois de janvier.

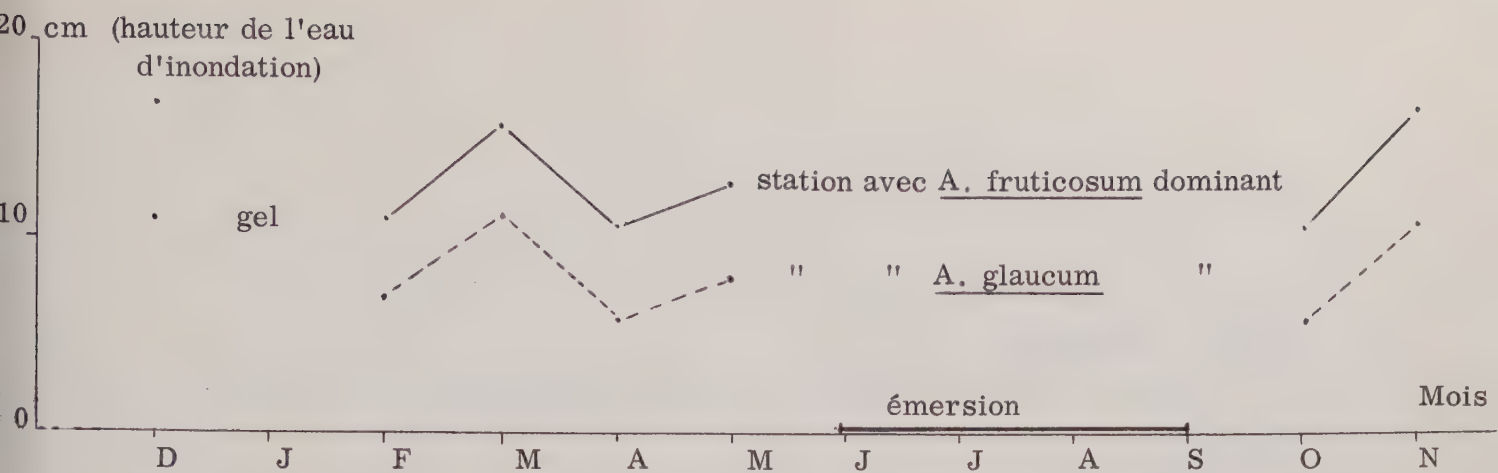


Fig. 36 - Variations de la hauteur de l'inondation dans le marais de la Grande Palude.

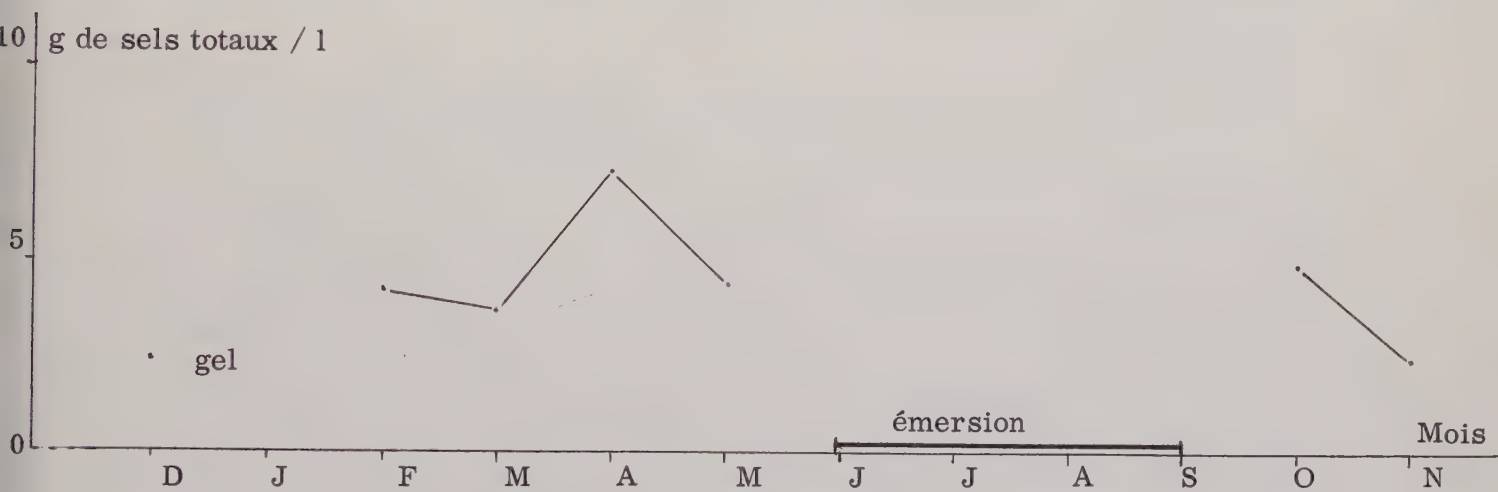


Fig. 37 - Variations de la salinité de l'eau de submersion.

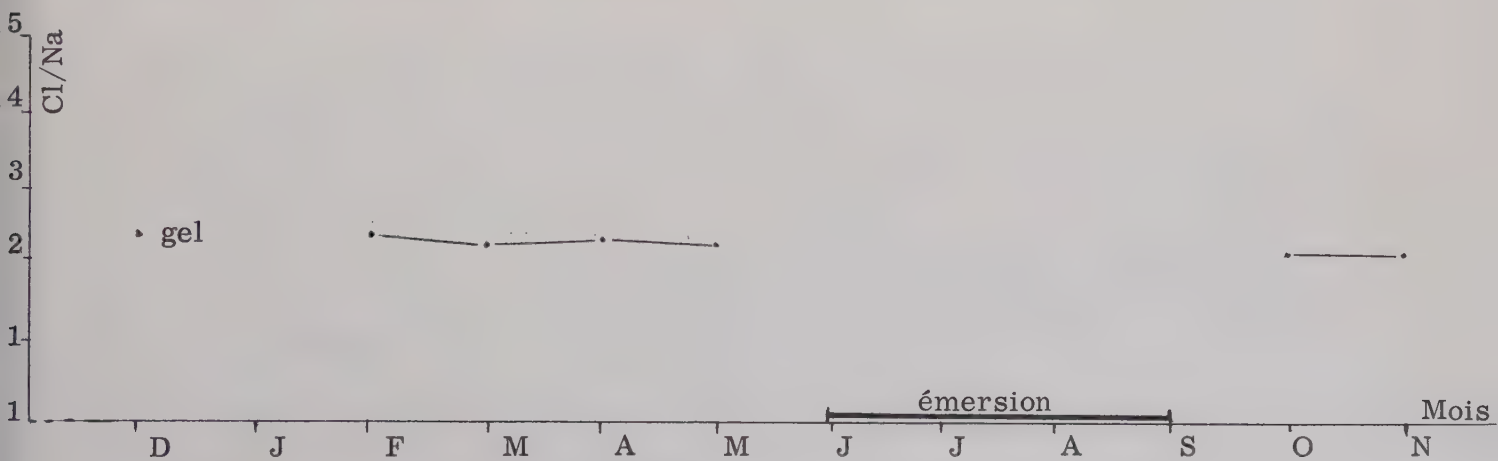


Fig. 38 - Variations du rapport Cl / Na dans l'eau de submersion.

Le marais est inondé depuis le mois d'octobre, et la submersion persiste jusqu'au mois de mai inclus.

A partir du mois de juin, le dessèchement nous a permis de prélever des échantillons du sol et de la nappe. Le marais reste sec pendant l'été et en octobre l'inondation se réinstalle.

La figure N° **37** représente les variations de la salinité dans l'eau de submersion.

La comparaison des figures N°^{OS} **36** et **37** montre que les variations des courbes de salinité et celle du niveau d'inondation, sont opposées. La remontée du niveau de submersion s'accompagne d'une baisse de la salinité et inversement.

En plus de l'étude des variations de la salinité totale, nous avons suivi les fluctuations des teneurs du Cl^- , du Na^+ et du K^+ dans l'eau de submersion, ainsi que leurs rapports.

Le rapport Cl / Na n'est pas sujet à des variations sensibles. (Figure N° **38**).

Par contre, le rapport Na / K subit des variations importantes au cours de l'année. La figure N° **39** représente les fluctuations de ce rapport pendant la période de notre étude. Elle montre que Na / K augmente progressivement au cours de l'année. Cette augmentation semble être indépendante des variations de la salinité et du niveau de submersion.

Parmi les hypothèses que l'on peut envisager pour expliquer les variations de ce rapport, la plus admissible nous a paru la suivante : la salinité de l'eau de submersion proviendrait de la mer qui y arrive indirectement, car au mois de décembre, la valeur du rapport Na / K dans l'eau de submersion est assez proche de celle de l'eau de mer.

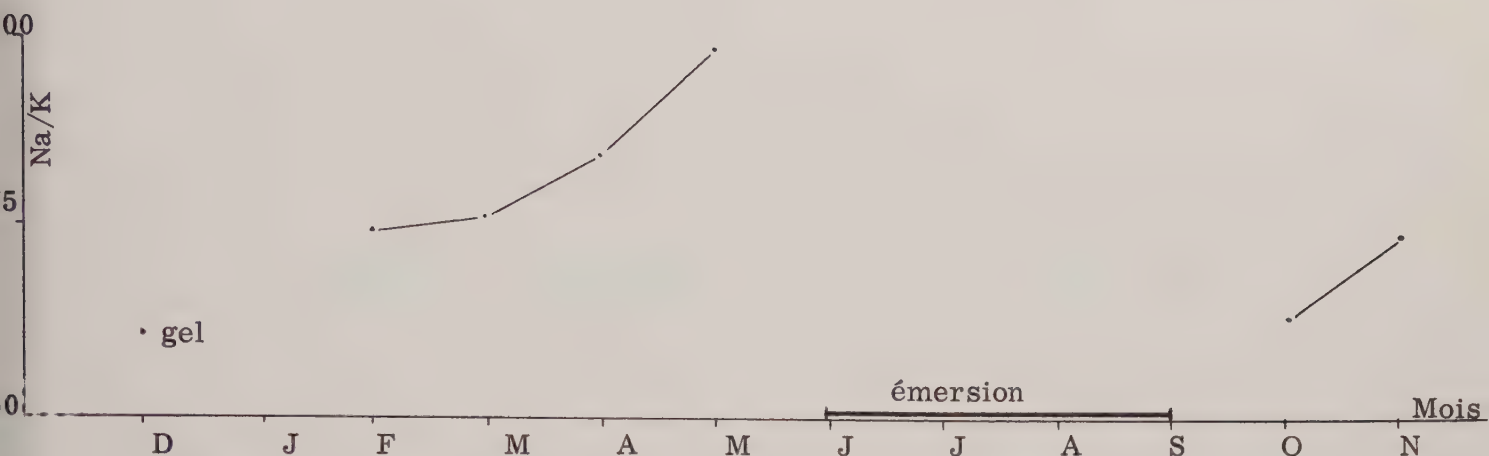


Fig. 39 - Variations du rapport Na / K dans l'eau de submersion.

En cours de saison, il y aurait une adsorption préférentielle du K^+ par le sol, qui diminuerait la proportion du K^+ et augmenterait la valeur de ce rapport.

Une autre hypothèse serait d'admettre que l'augmentation du rapport Na/K serait due à un enrichissement de l'eau de submersion en Na^+ , mais ceci nous paraît invraisemblable, du fait que le rapport Cl / Na ne semble pas subir de variations au cours de l'année.

Enfin, l'étude du régime hydrique dans son ensemble, permet de remarquer les faits suivants :

1° D'après la figure N° 36 la différence de la hauteur de submersion entre les deux stations choisies persiste pendant toute l'année. La station peuplée par A. glaucum se dessèche très probablement une quinzaine de jours avant la station peuplée par A. fruticosum.

2° La salinité de l'eau de submersion est relativement peu variable, elle oscille entre 2,21 et 7,74 g/l, suivant la période de l'année.

PREMIÈRE STATION
DU MARAIS DE LA GRANDE PALUDE

A. GLAUCUM ET SON ENRACINEMENT
(A. FRUTICOSUM DOMINANT)

A. glaucum est répandu plus ou moins irrégulièrement par touffes, parmi A. fruticosum, qui est l'espèce dominante. On peut évaluer à 5 % la surface occupée par A. glaucum. L'ensemble est une végétation fermée, très dense.

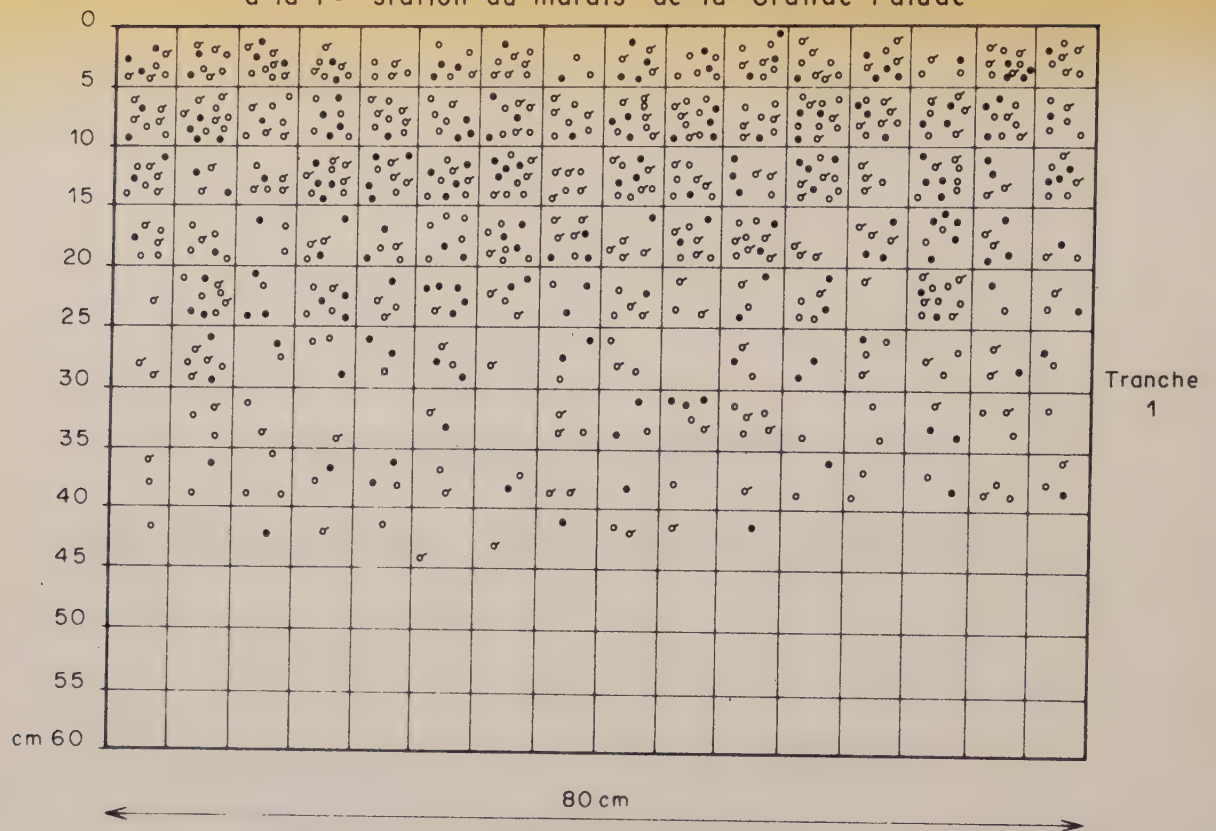
Les touffes d'A. glaucum sont nettement dressées ascendantes, moins hautes et moins larges que celles de son congénère; leur hauteur atteint 50 à 65 cm et le diamètre 60 à 110 cm. Elles sont très denses. En dehors d'elles, il y a, disséminés çà et là des jeunes individus.

Voyons le comportement de l'appareil racinaire.

Celui des individus jeunes est constitué par une racine pivotante de 20 - 25 cm de longueur, avec très peu de racines secondaires.

Les étapes ultérieures du développement sont marquées par l'apparition précoce sur les parties couchées des tiges, de racines adventives et de racines secondaires, donnant finalement un système abondant ramifié. On peut estimer, globalement, qu'il est composé de 50 % de racines adventives et autant pour

Répartition des racines d'*A. glaucum* dans le sol
à la 1^{ère} station du marais de la Grande Palude



○ Racines de l'individu N° 1
● // N° 2
σ // N° 3

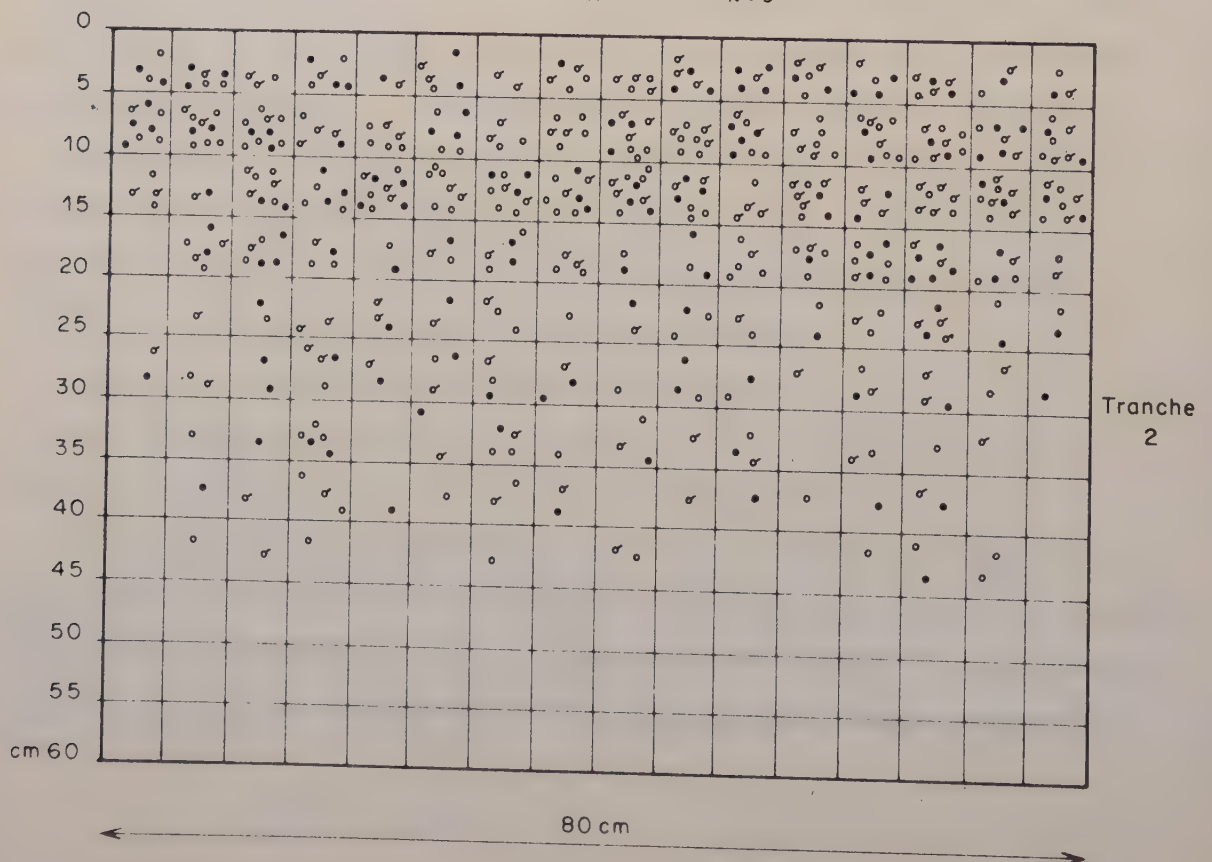


Fig. 40

les autres racines. Les racines secondaires forment toujours un angle droit avec la racine primaire et s'orientent essentiellement en direction horizontale, mais leurs ramifications s'étendent de préférence latéralement, certaines pénètrent cependant en profondeur jusqu'à 40 à 45 cm. La longueur des racines secondaires latérales est de 100 à 150 cm en général, la longueur maximale observée dans cette station était de 230 cm.

Les racines adventives sont très abondantes; elles apparaissent très tôt sur les individus jeunes et assurent l'élargissement de la touffe. Leur longueur est, en général, de 30 à 60 cm. Leur orientation est ici très souvent verticale, et leurs ramifications s'étendent dans toutes les directions.

L'appareil racinaire total couvre, en moyenne, la surface d'un cercle de 3 m de diamètre, donc sur une superficie de 7 m² environ.

La stratification des racines que nous avons observée est nettement moins accentuée dans cette station que dans toutes les autres étudiées précédemment, et il n'y a que peu de racines (environ 7 %) qui atteignent jusqu'à 30 - 35 cm de profondeur.

Les résultats obtenus par l'application de notre méthode du repérage des racines, sont présentés sur la figure N° 40. Trois individus représentatifs ont été choisis par la méthode précédemment décrite page 55. Deux tranches ont été faites, l'une à 0 cm, l'autre à 30 cm du centre de chaque touffe.

Les racines de chaque touffe sont désignées par un signe particulier sur la figure. On remarque, d'après cette figure, que l'abondance et la localisation des racines est nettement en surface, mais aussi qu'une partie du système racinaire se trouve dans les couches inférieures. La répartition des racines, sur les profils examinés, est représentée sur la figure N° 41. Elle illustre le nombre des racines dans les différentes couches du profil, au centre et à 30 cm du centre des touffes étudiées.

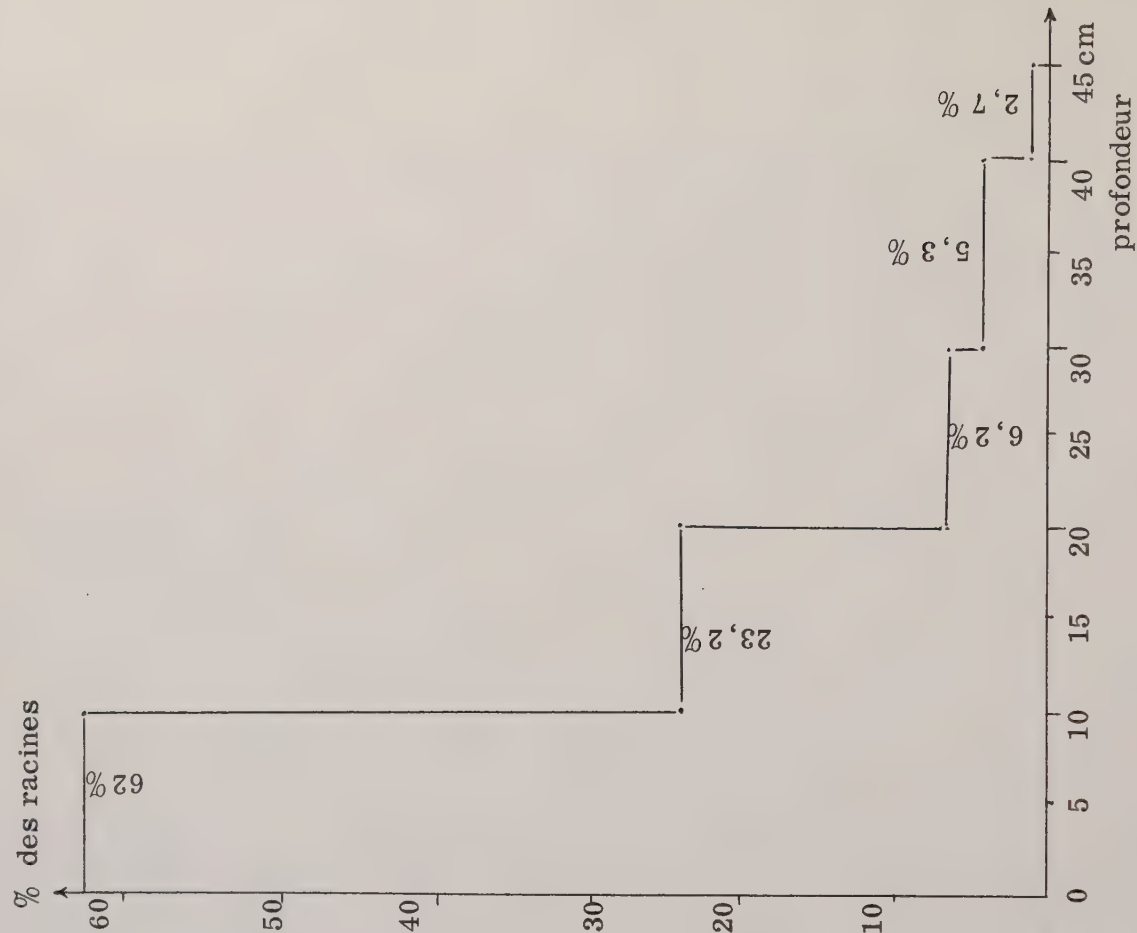
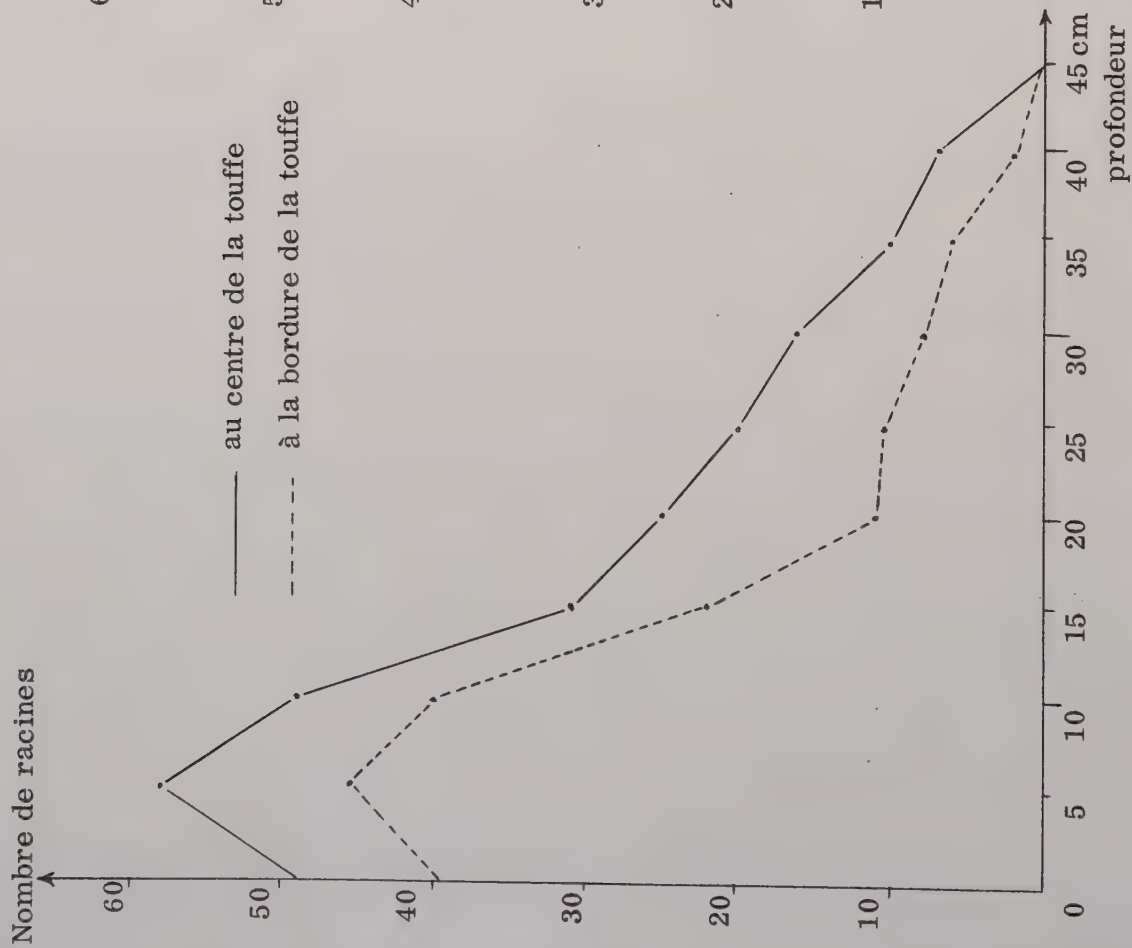


Fig. 41 - Variations du nombre des racines (exprimées en pourcentage) en fonction de la profondeur.

Fig. 42 - Variations du poids des racines (exprimées en pourcentage) en fonction de la profondeur.

Nous avons essayé, également, de représenter la répartition quantitative des racines.

Dans ce but, nous avons prélevé des cylindres du sol à des profondeurs différentes. L'échantillonnage porte sur les trois individus précédemment choisis. Pour chaque touffe, 25 échantillons ont été prélevés en bordure. La figure N° **42** illustre les résultats obtenus. Elle montre que 85 % des racines sont localisés dans les couches de 0 à 20 cm du profil, et 15 % sont répartis au-delà de 20 cm de profondeur.

A. FRUTICOSUM ET SON ENRACINEMENT

A. fruticosum, espèce ici dominante, se présente sous l'aspect de grandes touffes denses, de diamètre de 80 à 120 cm et de 60 à 100 cm de hauteur.

Les touffes sont érigées ascendantes.

Le comportement des racines de cette espèce a beaucoup de similitude avec celui d'A. glaucum qui cohabite : mode de développement, précocité de l'apparition des racines adventives et leur abondance, richesse globale de l'appareil racinaire, répartition des racines dans le profil, sont comparables entre les deux espèces.

La longueur des racines secondaires de premier ordre est, en général, de 1 à 1,50 m avec une longueur maximale observée de 2,1 m.

La surface d'extension de l'ensemble de l'appareil racinaire est d'environ 7 à 8 m².

La longueur des racines adventives est de 30 à 60 cm, elles se développent très souvent verticalement. Leur pourcentage a été évalué à 50 - 60 %. La figure N° **43** représente la position des racines de trois individus d' A. fruticosum sur les tranches faites au centre et à 30 cm du centre de la touffe. La répartition quantitative des racines dans le profil est illustrée sur les figures N^{os} **44** et **45**.

DESCRIPTION DU PROFIL PÉDOLOGIQUE

L'évolution du sol dans cette station, qui est soumise aux influences de facteurs divers, est très compliquée. Ses caractères pédologiques sont marqués par l'intervention de ~~deux~~ facteurs importants :

1. la submersion temporaire (durant les 3/4 de l'année)
2. la présence d'une nappe salée

Ces éléments de la pédogénèse, qui sont d'ailleurs inséparables très souvent dans les milieux salés naturels (NOVIKOFF, 1965 : 17), ont favorisé la formation d'un sol hydromorphe à gley, qui est fortement salé. (Ces caractères particuliers du sol ne permettent pas de lui donner une place bien déterminée dans la classification française et russe).

La répartition du sel dans l'ensemble du profil et son accumulation en surface permettraient de placer le sol de cette station dans la sous-classe de solonchak des classifications américaines et russes. Mais les caractères hydromorphes du sol étant très accentués, on pourrait aussi le placer dans le groupe des sols hydromorphes, si l'on négligeait la présence du sel.

Répartition des racines d'*A. fruticosum* dans le sol
à la 1^{ère} station du marais de la Grande Palude

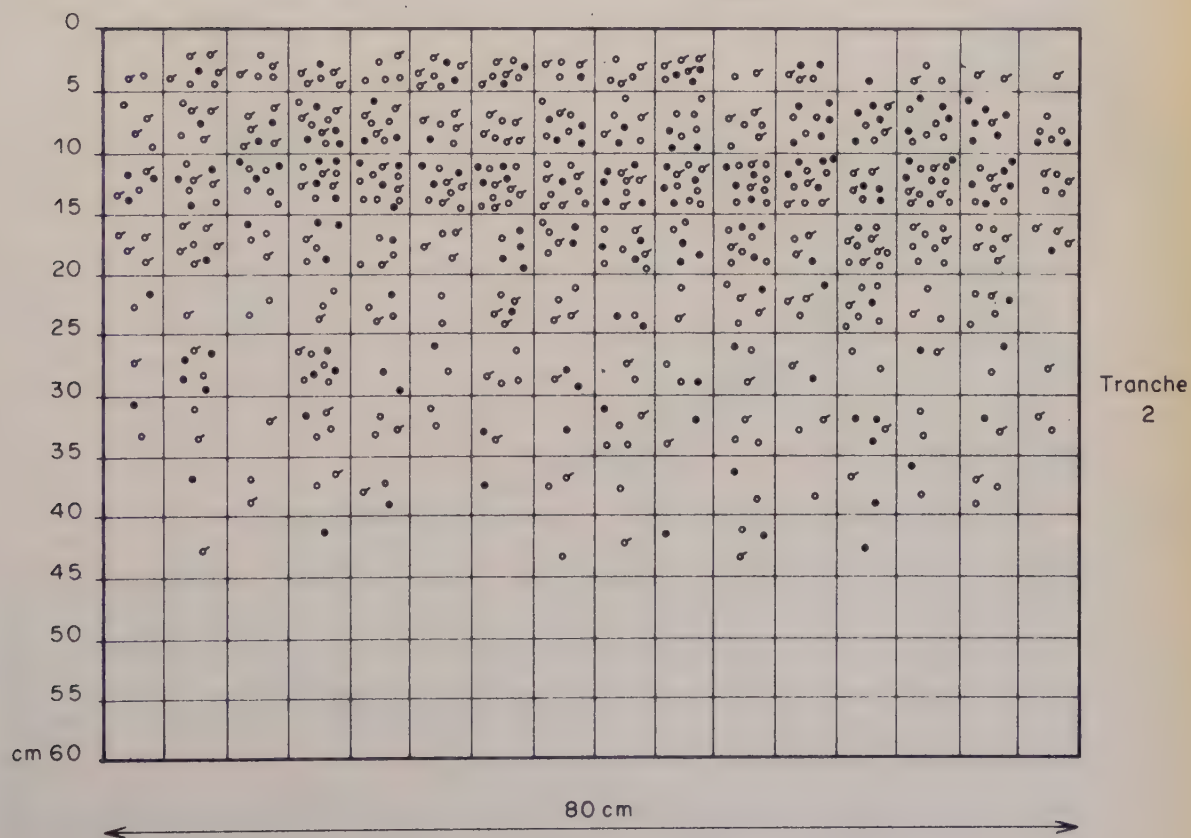
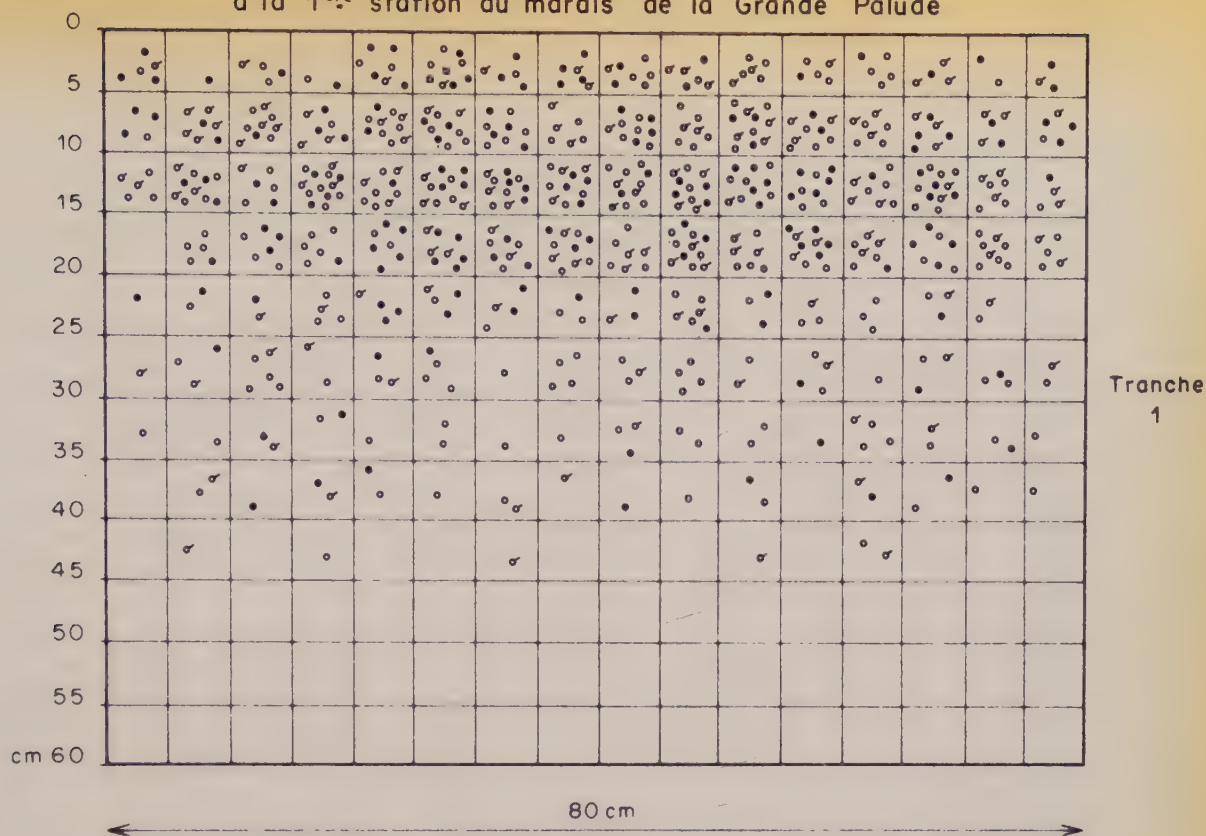


Fig. 43



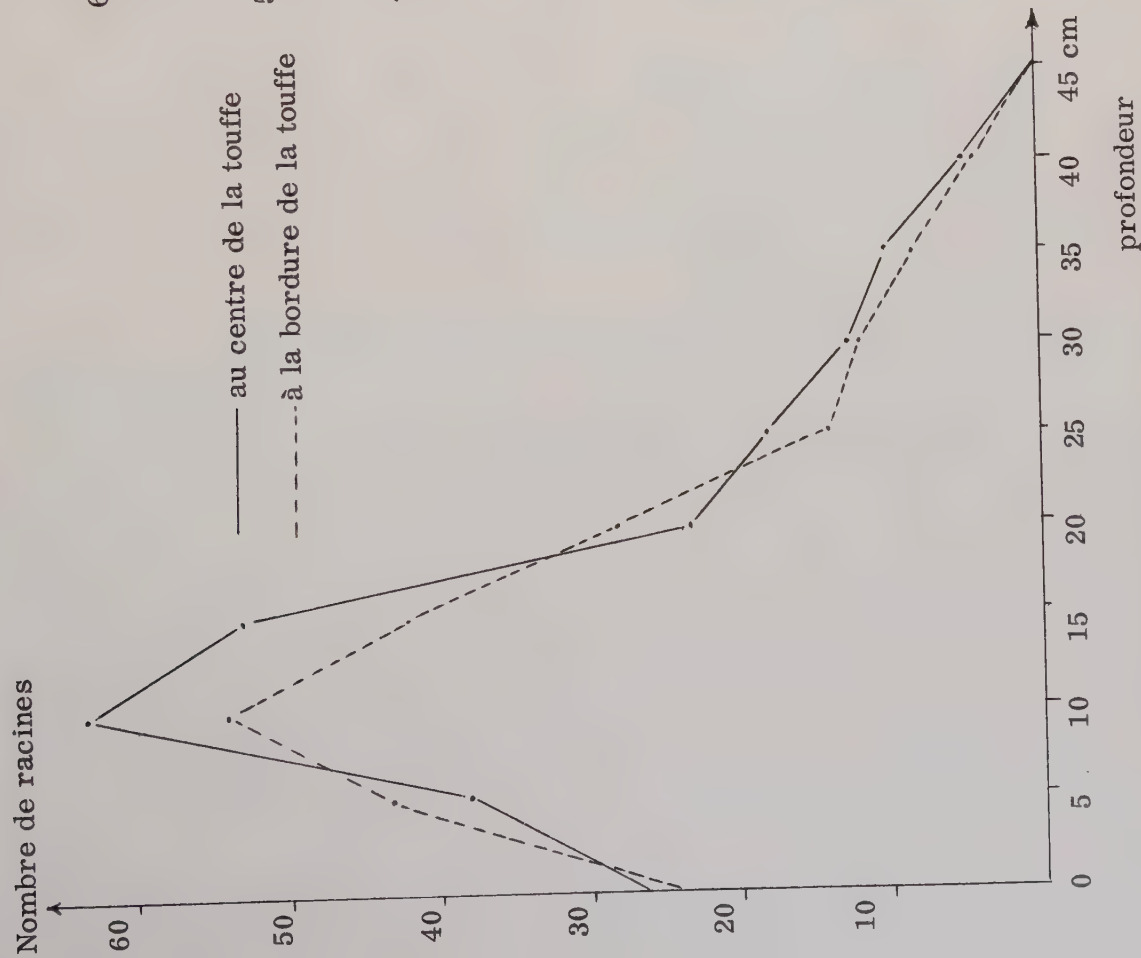


Fig. 44 - Variations du nombre des racines en fonction de la profondeur.

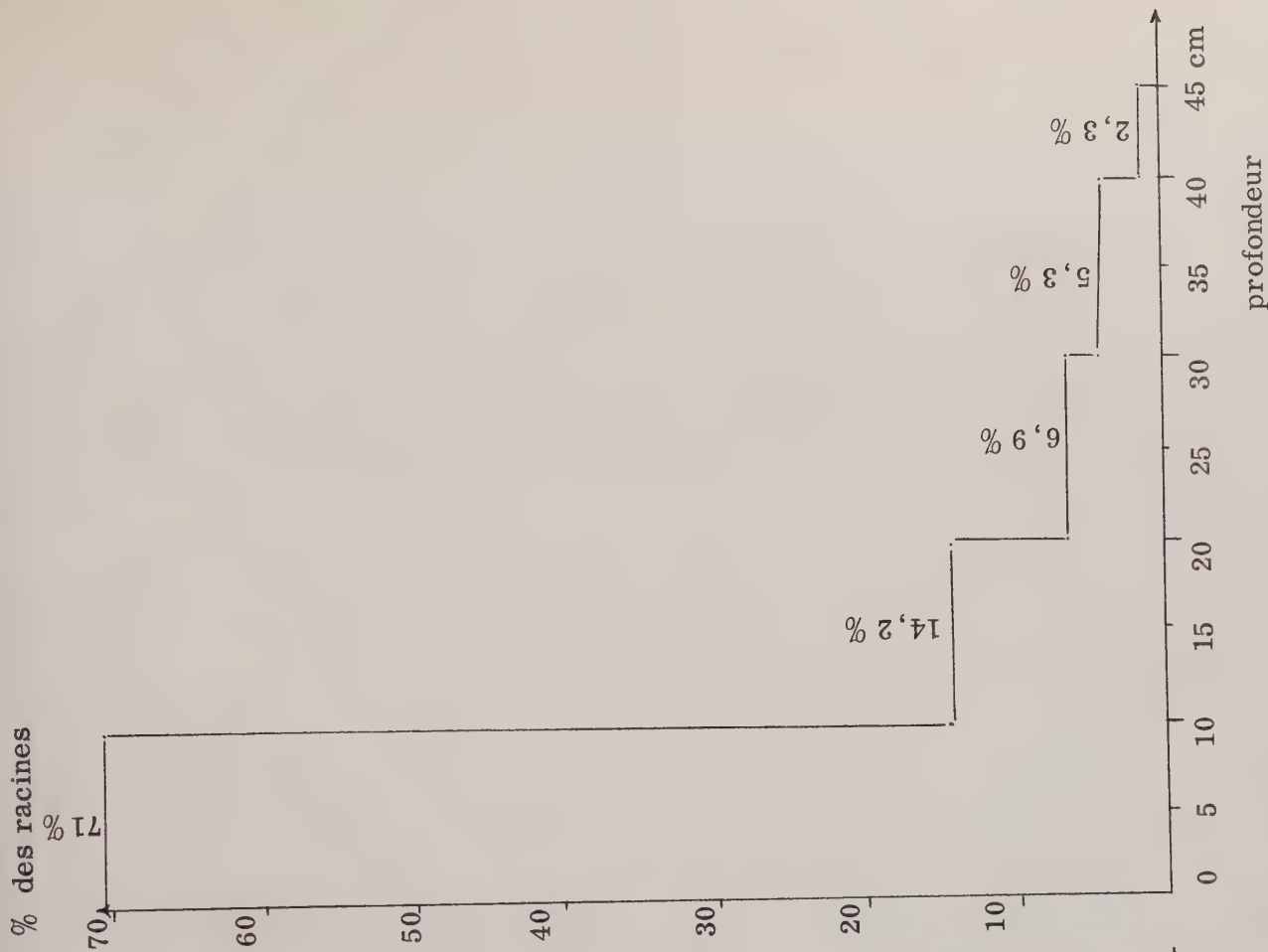


Fig. 45 - Variations du poids des racines (exprimées en pourcentage) en fonction de la profondeur.

Des cas semblables ont été étudiés en Afrique où DUBOIS (1954) a essayé d'établir, pour le Sénégal, un parallèle entre les sols salés et les sols hydromorphes.

La classification de NOVIKOFF (loc. cit.) comprend des sols semblables. D'après elle, le sol de ce marais se situerait dans le groupe des sols salés et hydromorphes à gley.

La distinction des horizons classiques permet d'établir un profil du type $A_0 A_1 G$, mais notre description étant basée essentiellement sur la répartition des racines, nous a conduit à décrire les couches suivantes :

- 1° 0 - 4 cm, zone riche en débris végétaux et matière organique, d'où la couleur gris clair (2,5 Y 7/2), riche en racines et radicelles, effervescence à Cl H forte et brève.
- 2° 4 - 20 cm, horizon très riche en racines, couleur gris faiblement jaunâtre (2,5 Y 7/3), effervescence à Cl H forte et brève.
- 3° 20 - 35 cm, horizon de couleur jaune pâle (5 Y 7/3), racines et radicules assez rares, effervescence à Cl H forte et brève.
- 4° 35 - 55 cm, horizon de couleur jaune pâle (5 Y 7/3), effervescence à Cl H forte et brève; racines très rares et seulement dans la moitié supérieure.
- 5° 55 - 100 cm, horizon de couleur gris foncé (2,5 Y 4/0), horizon de gley, submergé longtemps par la nappe, effervescence à Cl H courte et brève. Pas de racines.

● TEXTURE

Le type de la texture est de "limon fin" dans l'ensemble du profil.

Les résultats des analyses granulométriques des différents horizons du profil ont été représentées dans le tableau N° 12 et la figure N° 46.

Tableau N° 12

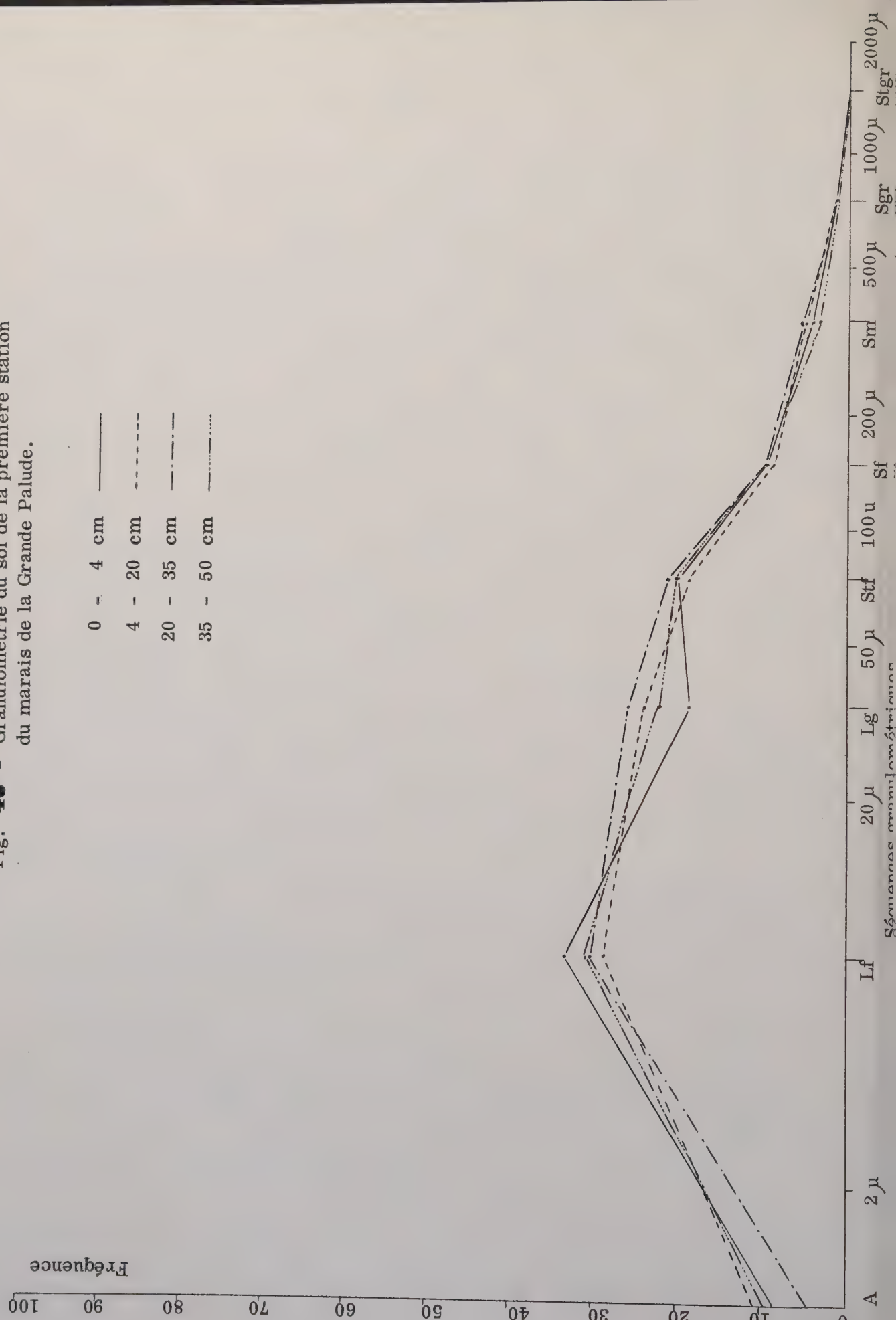
Analyse granulométrique

Composants	Diamètre en μ	Profondeur en cm			
		0 - 4	4 - 20	20 - 35	35 - 50
Argile	< 2	8,40	11,00	4,70	9,70
Limon fin	2-20	52,11	52,80	55,84	52,84
Limon grossier	20-50				
Sable	sable 50-100	34,67	35,06	36,34	36,26
	" 100-200				
	" 200-500				
	" 500-1000				
	1000-2000	0	0	0	0
Matière organique	—	4,79	1,11	1,10	1,18
Type de texture	—	Lf	Lf	Lf	Lf

Ils montrent que les variations de la composition granulométrique le long du profil sont minimales.

La teneur en argile et en limon de tous les horizons étant pratiquement la même, on peut en déduire qu'il n'y a pas eu lessivage. A part la couche superficielle de 0 à 4 cm dont la teneur en matière organique est assez élevée, les autres couches du profil ont des teneurs pratiquement égales dans ce domaine, ce qui est comme un trait caractéristique des sols hydromorphes (NOVIKOFF, 1965).

Fig. 46 - Granulométrie du sol de la première station
du marais de la Grande Palude.



Le type de la texture restant le même dans tous les horizons du sol, on peut admettre que la zonation préférentielle des racines en surface n'est pas en rapport avec la texture.

● pH

L'étude du pH a montré qu'il ne subit pas de variations importantes, ni dans le temps, ni en profondeur. Voici les valeurs de pH pour les différents horizons de sol que nous avons observé au mois d'août 1966

Tableau N° 13

Variation du pH avec la profondeur

Profondeur en cm	pH
0 - 4	7,9
4 - 20	7,85
20 - 35	7,9
35 - 55	7,9
55 - 100	7,85

Cette étude nous permet de conclure que les variations de la répartition des racines ne s'explique pas par des changements du pH. On peut constater, également, que l'état du complexe adsorbant est comparable dans tous les horizons, car il est bien connu que les variations dans la saturation de complexe adsorbant s'expriment aussi au sein du pH:

● STRUCTURE

Le type de structure dans la couche superficielle de 0 à 20 cm est grumeleux, net et assez stable, assurant une bonne aération du sol.

L'horizon inférieur, entre 20 et 35 cm de profondeur, a une structure polyédrique, et la couche située entre 35 et 50 cm possède, dans l'ensemble, une structure massive. Cependant, on remarque une ébauche de structuration du type polyédrique, surtout dans la moitié supérieure de cette couche.

Ces variations de type en fonction des horizons s'accompagnent de variations de la densité apparente, et par conséquent de la porosité.

La densité apparente dans l'horizon de 0 à 20 cm est de 1,04 g/ml. A 20 - 35 cm de profondeur, la densité apparente est égale à 1,20 g/ml.

Elle est de 1,22 g/ml pour la couche de 35 à 50 cm et de 1,29 pour celle de 50 à 65 cm.

On peut ainsi déduire la porosité totale des différents horizons (Figure N° 47)

0 à 20 cm	porosité totale	=	59,2 %
20 à 35 cm	" "	=	52,9 %
35 à 50 cm	" "	=	52,5 %
50 à 60 cm	" "	=	48,6 %

Comparée aux autres stations étudiées, la porosité dans l'ensemble du profil, surtout celle des couches inférieures, est nettement plus élevée dans cette station qu'ailleurs.

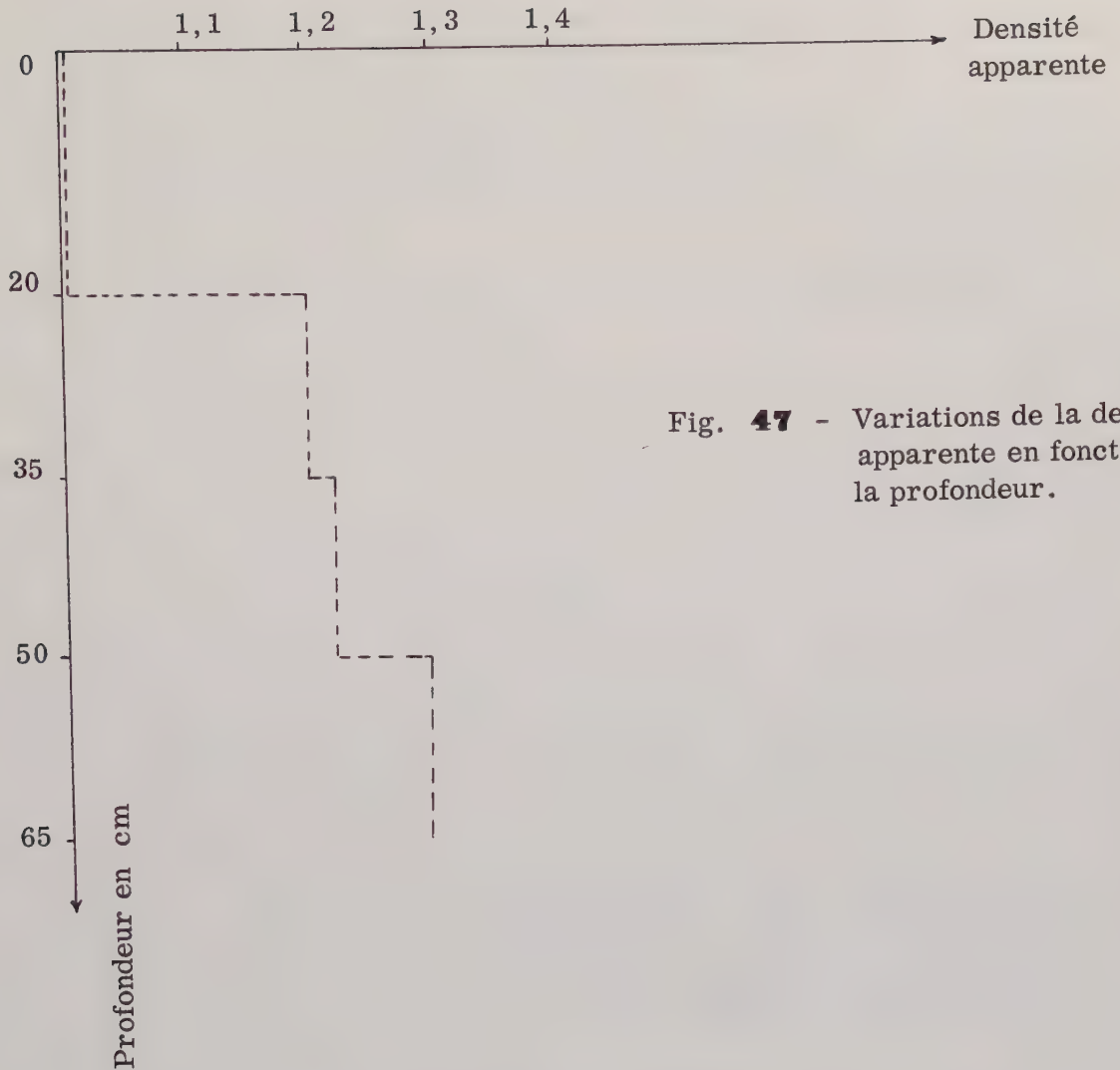


Fig. 47 - Variations de la densité apparente en fonction de la profondeur.

ÉTUDE DE LA NAPPE

Le régime hydrique souterrain a été étudié pendant la période de juin - octobre, durant laquelle la cessation de l'inondation a permis de prélever des échantillons.

Les figures N^{os} 48 et 49 indiquent les variations du niveau et de la salinité de la nappe pendant cette période.

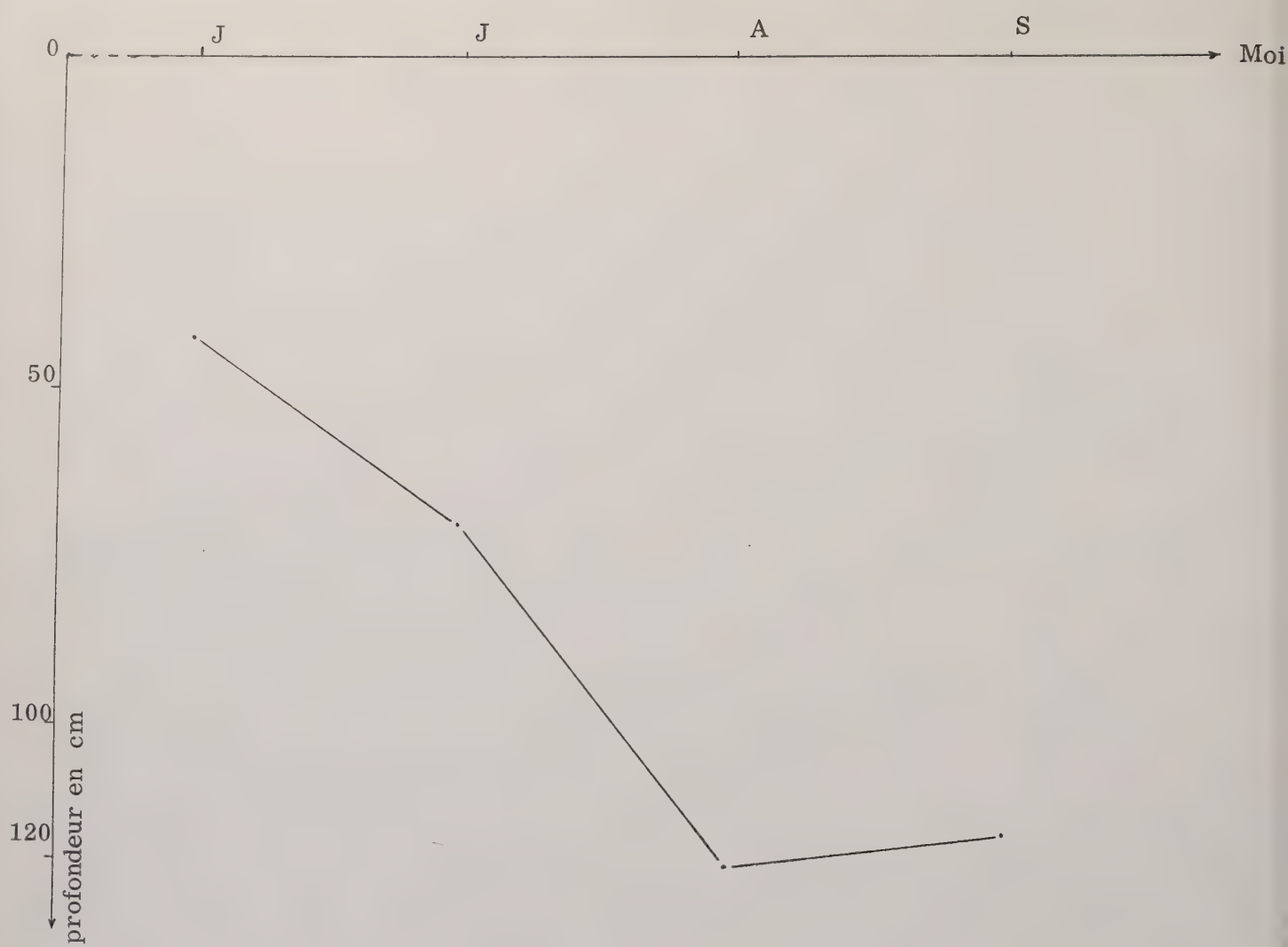


Fig. 48 - Variations de la profondeur de la nappe.

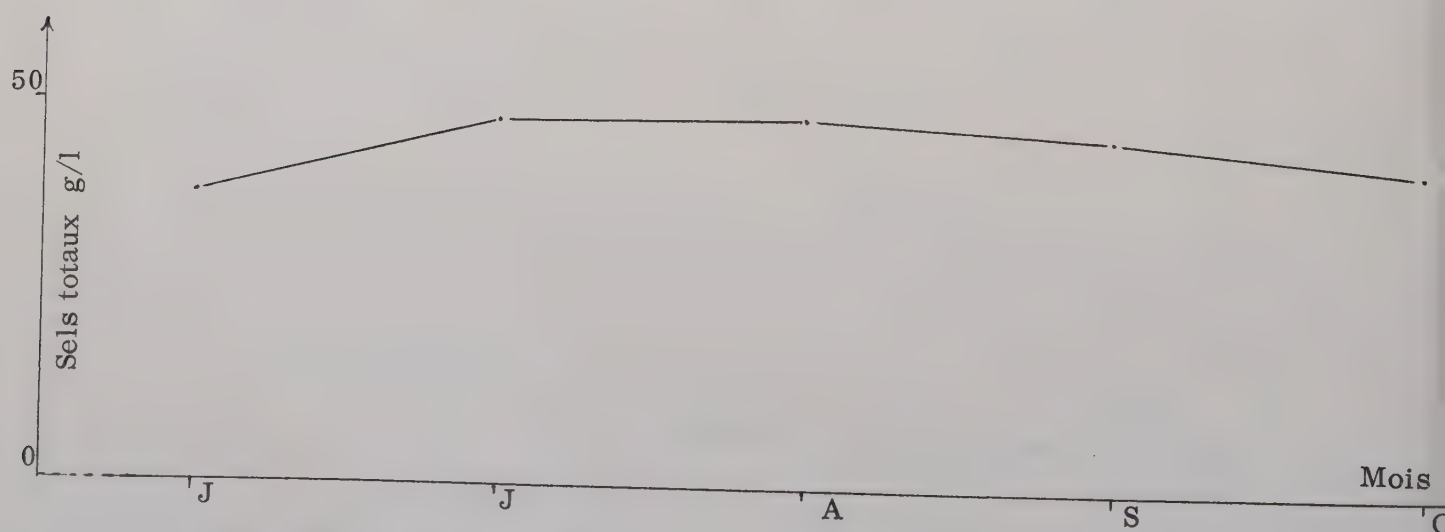


Fig. 49 - Variations saisonnières de la salinité de la nappe.

Les variations du niveau de la nappe sont assez brusques; il varie de 42 cm de profondeur en juin, jusqu'à 120 cm en août.

A l'encontre du niveau, la salinité de la nappe ne subit pas de variations importantes. Elle varie seulement entre 38,9 g/l et 49,3 g/l des sels totaux.

De ce fait, la nappe de cette station est la moins salée que nous ayons notée parmi les quatre stations étudiées.

Les mouvements de la nappe dans le profil ne sont pas accompagnés par des variations de teinte du profil, phénomène qui a été observé dans les autres stations. En plus de la mesure de salinité totale, les variations de la teneur en Cl^- , Na^+ et K^+ de la nappe ont été suivies. (Figure N° 50)

D'après cette figure, il existe un parallélisme net entre les variations de ces éléments d'une part, et celles de la salinité totale de l'autre.

Pour représenter concrètement les nuances des variations des constituants de la salinité ⁽¹⁾, nous avons calculé les rapports de Cl/Na et Na/K dans les sels solubles pour la période de notre étude.

Le rapport Cl/Na est quasiment invariable (Figure N° 51) sa valeur est de l'ordre de 1,33 (donc nettement supérieur à celui de l'eau de submersion : 1,23 également supérieur à celui de la nappe de l'Espiguette : 1,16 et à celui de l'eau de mer : 1,16).

Le rapport Na/K subit de faibles fluctuations en cours de saison (Figure N° 52). Sa valeur a été de 372 en juin; à cette époque, la nappe est relativement peu salée. En juillet et en août, par suite de l'augmentation de la salinité de la nappe, le rapport Na/K s'élève également (421), et au mois de septembre, on observe une baisse qui s'accompagne d'une diminution de ce rapport.

(1) Les raisons ont été déjà expliquées lors de l'étude des stations précédentes. Voir page 77.

2000 m.val./l

1000

100

10

1

J

J

A

S

O

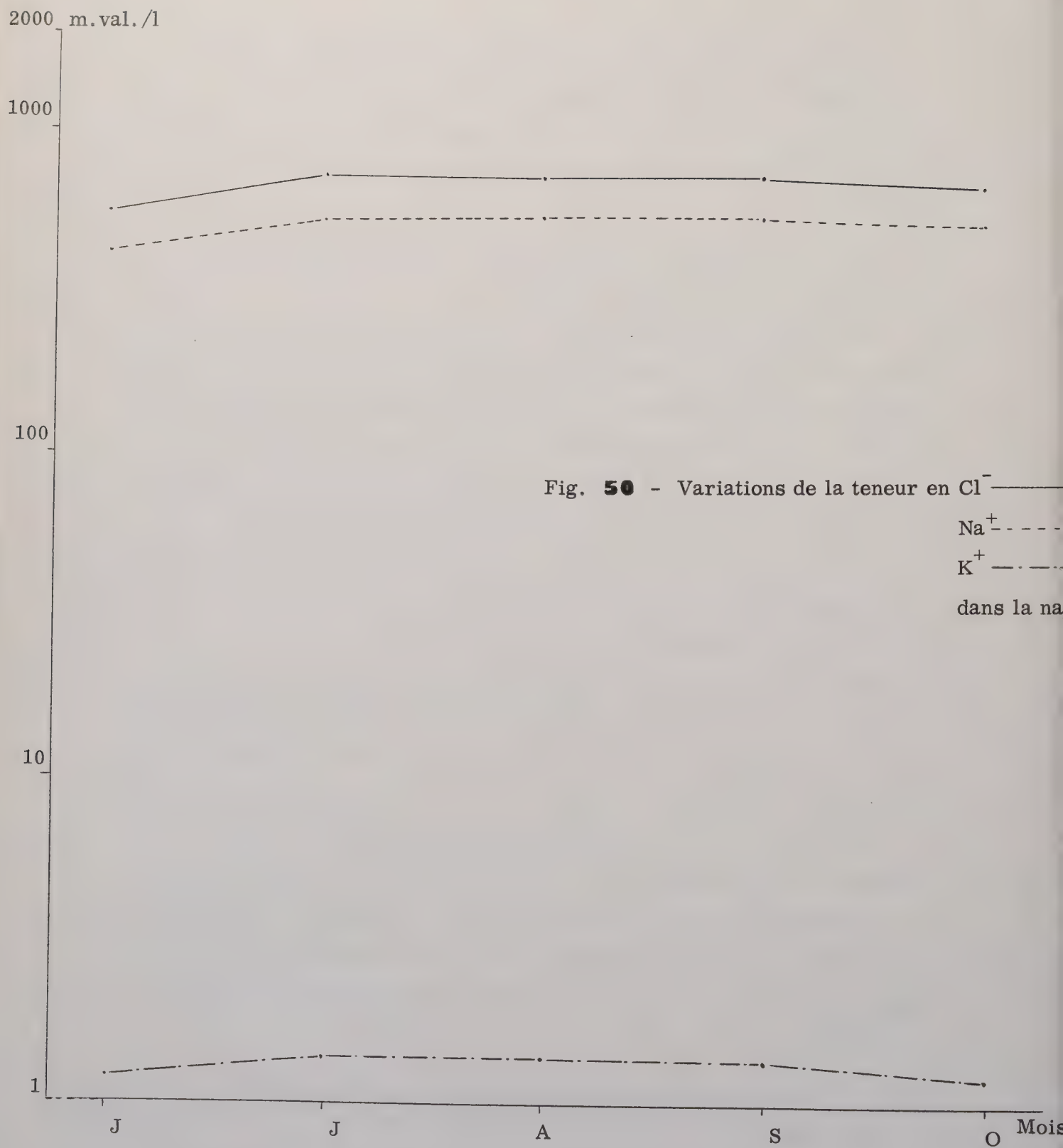
Mois

Fig. 50 - Variations de la teneur en Cl^-

Na^+ -----

K^+ - . - . - .

dans la na



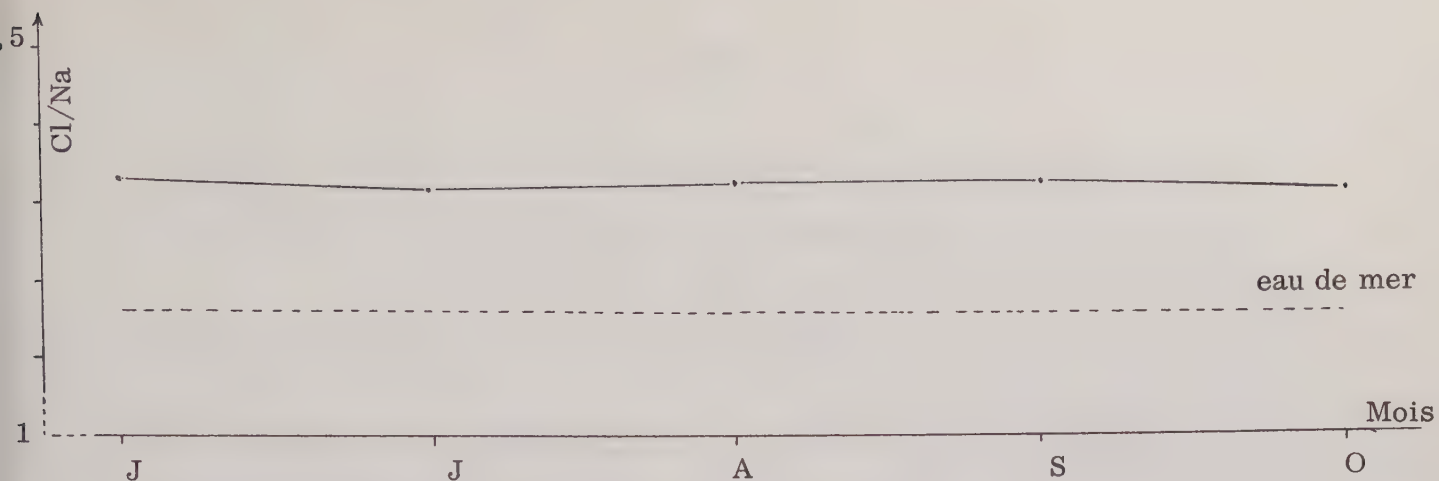


Fig. 51 - Variations saisonnières du rapport Cl / Na dans la nappe.

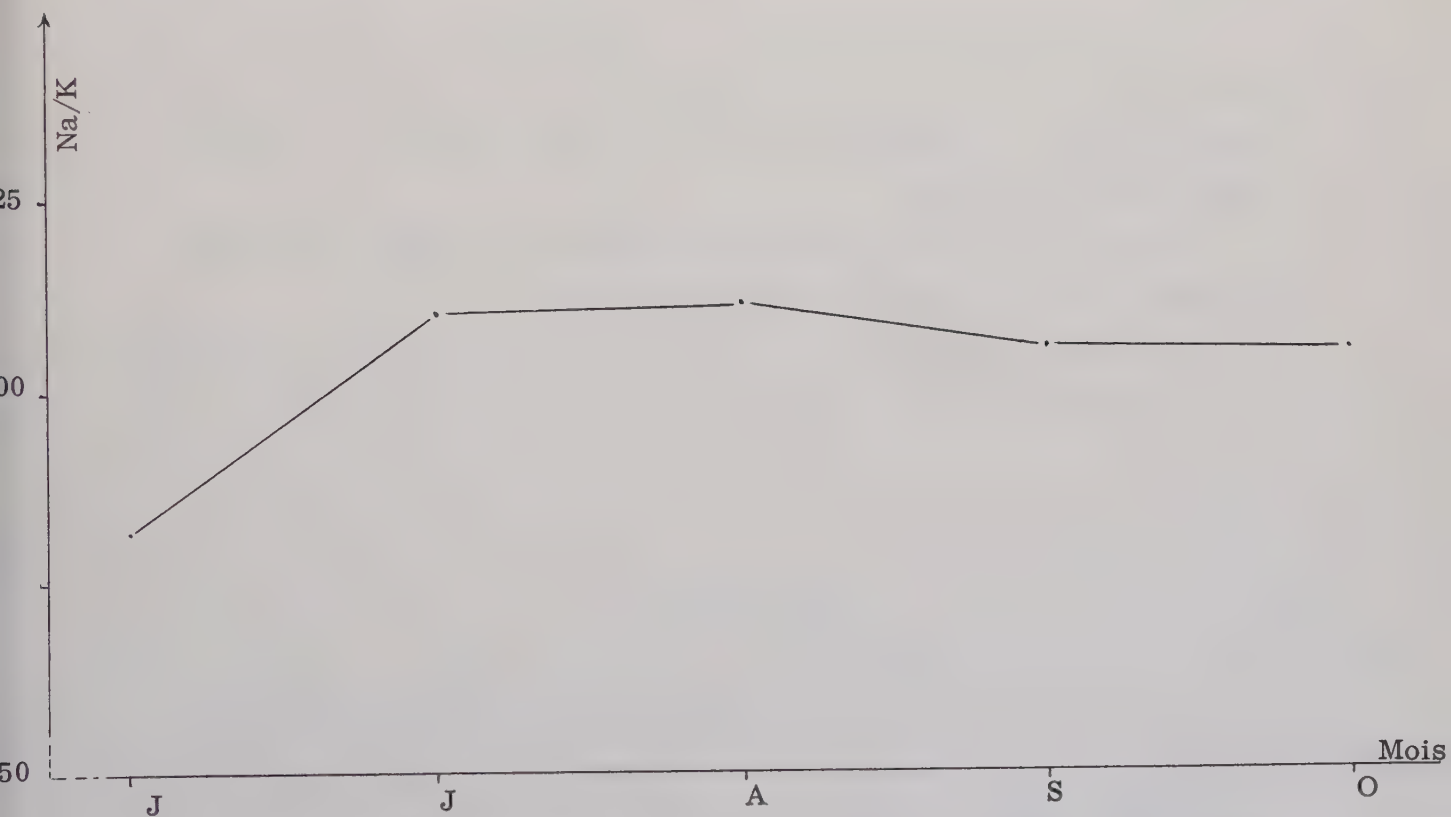


Fig. 52 - Variations saisonnières du rapport Na / K dans la nappe.

Les fluctuations du rapport Na / K semblent être dues aux variations de la proportion du K^+ dans la nappe, car la proportion du Na^+ paraît avoir une position stable (d'après le rapport quasi invariable de Cl / Na).

Ces variations peuvent s'expliquer par l'hypothèse qui a été donnée pour la nappe de l'Espiguette.

En effet, les sels dissous dans l'eau de submersion sont plus riches en K^+ que ceux de la nappe (le rapport Na / K dans l'eau de submersion varie de 62 à 98), et l'infiltration de l'eau de submersion enrichit la nappe en K^+ .

L'installation des tubes piézométriques a permis de prélever des échantillons de la nappe au mois d'octobre, bien que la station fût inondée.

Les résultats des analyses ont été portés sur les figures N^{os} **49**, **50** et **52**.

La comparaison de ces résultats avec ceux du mois précédent permet de constater que, malgré la submersion de la surface (par l'eau douce : 4 g de sels par litre), la salinité et sa composition sont restées intactes dans la nappe profonde (à 80 cm).

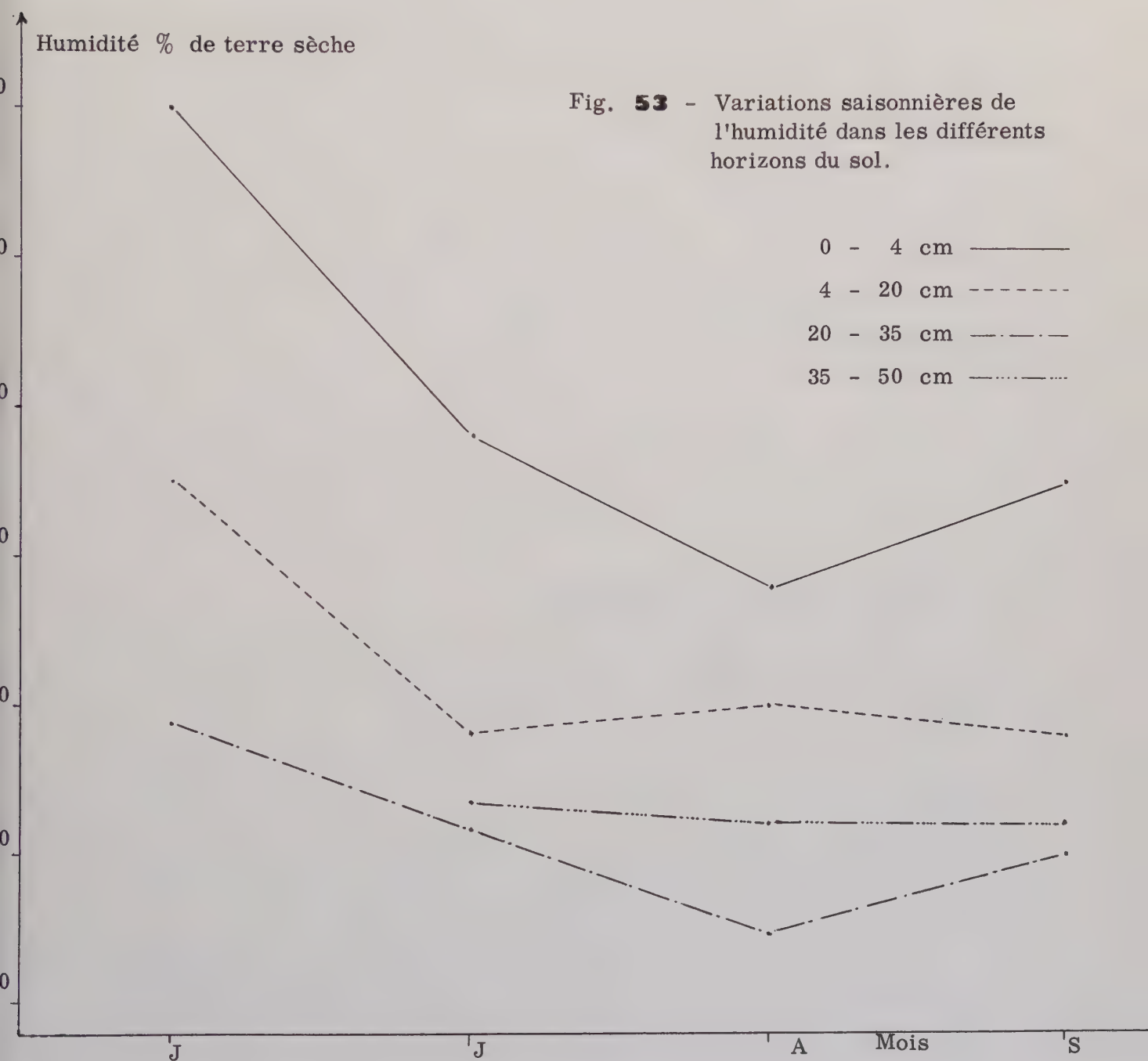
Cela prouve que l'eau d'infiltration ne s'est pas mélangée avec la nappe profonde, elle doit simplement se superposer à elle.

Les couches supérieures du profil sont engorgées par cette eau relativement douce, tandis que la nappe initiale affecte les horizons de profondeur.

HUMIDITÉ

En partant de la surface, il y a une diminution de l'humidité jusqu'à la profondeur de 35 cm, ensuite il y a une légère augmentation à cause de la présence de la nappe.

Les variations de la teneur en eau des différents horizons du profil sont représentées sur la figure N° 53.



On constate que les variations de l'humidité ont une amplitude très grande dans la couche superficielle de 0 à 4 cm. Cependant, la teneur en eau de cette couche est toujours plus élevée que celles des autres horizons.

La couche de 4 à 20 cm qui est la zone d'abondance des racines est toujours plus humide que les horizons inférieurs bien qu'elle soit plus éloignée de la nappe que ceux-ci.

Ces variations semblent être déterminées par la porosité du sol d'une part, et la proximité de la nappe de l'autre. La diminution progressive de la porosité en fonction de la profondeur entraîne celle de la capacité de rétention d'eau. Les couches superficielles, étant mieux structurées que les horizons inférieurs, ont une teneur plus élevée en eau.

SALINITÉ

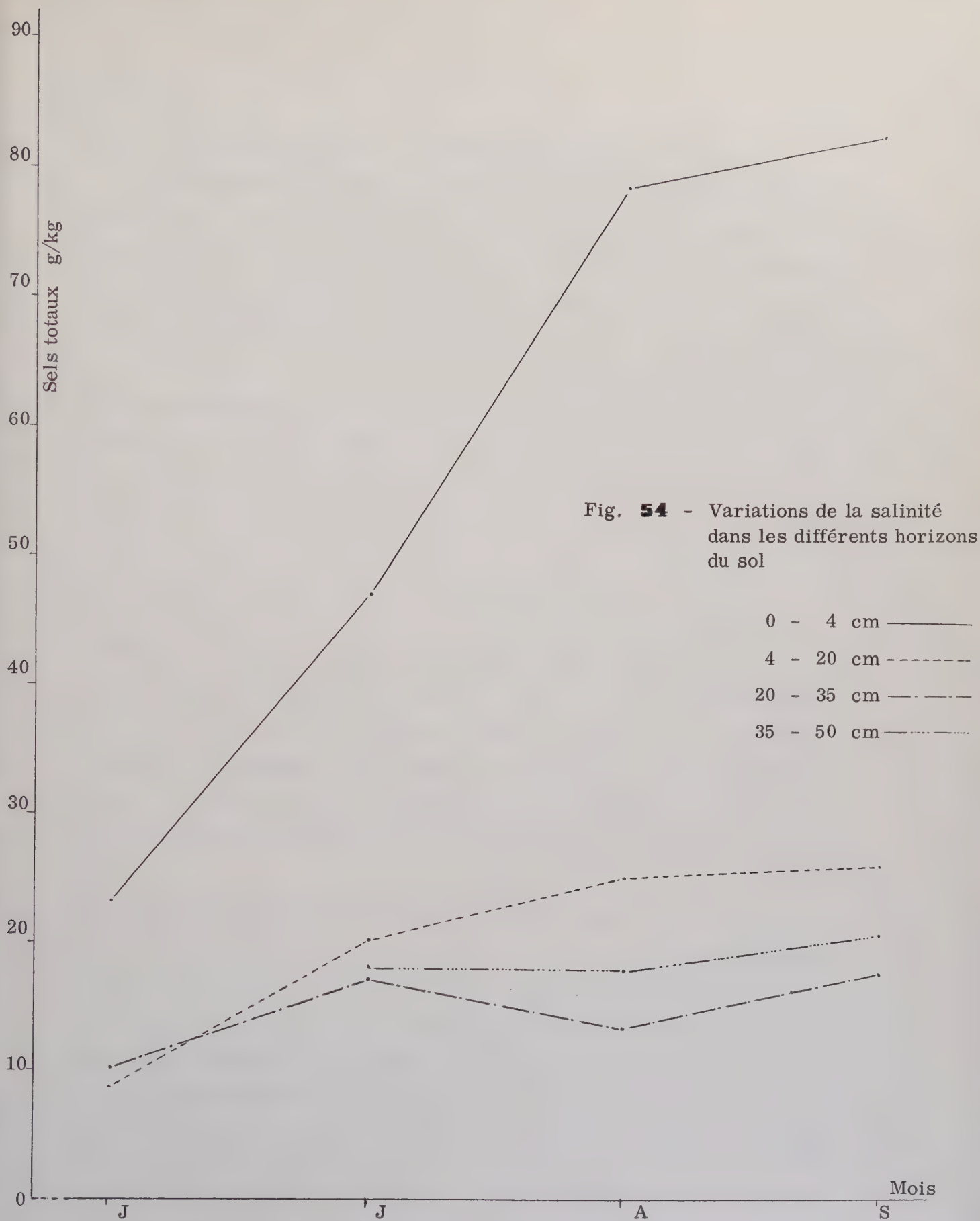
● VARIATIONS QUANTITATIVES

Les variations saisonnières de la teneur en sels solubles de différents horizons du sol ont été illustrées sur la figure N° 54.

Cette figure montre que l'amplitude des variations de la salinité est très grande dans la couche superficielle (0 à 4 cm). La salure de cet horizon varie entre 21,71 g/kg (en juin) et 83,43 g/kg (en septembre).

Le phénomène de la cristallisation du sel s'observe à la surface du sol à partir du mois de juillet, et il s'accroît pendant l'été.

L'horizon de 4 à 20 cm, zone d'abondance de racines, est marqué par une salinité toujours inférieure à celle de la couche superficielle et varie de 8,6 g/kg (juin) jusqu'à 25 g/kg (en septembre).



La salinité des couches inférieures (20 - 35 cm), pauvres en racines, a été, sauf en juin, moins élevée que celle de l'horizon d'enracinement.

La teneur en sels solubles de l'horizon de 35 à 50 cm est légèrement supérieure à celle de la couche de 30 à 35 cm. On peut admettre, d'après la figure N° **54** qu'il existe, en général, un gradient décroissant de la salinité de la surface, jusqu'à la couche de 20 à 35 cm; au-delà de cette couche, le gradient est croissant.

L'étude des variations de la salinité montre que la localisation des racines n'est pas en rapport avec le minimum de la salinité. A part la couche superficielle, les variations de la salure sont relativement faibles dans les autres horizons du profil.

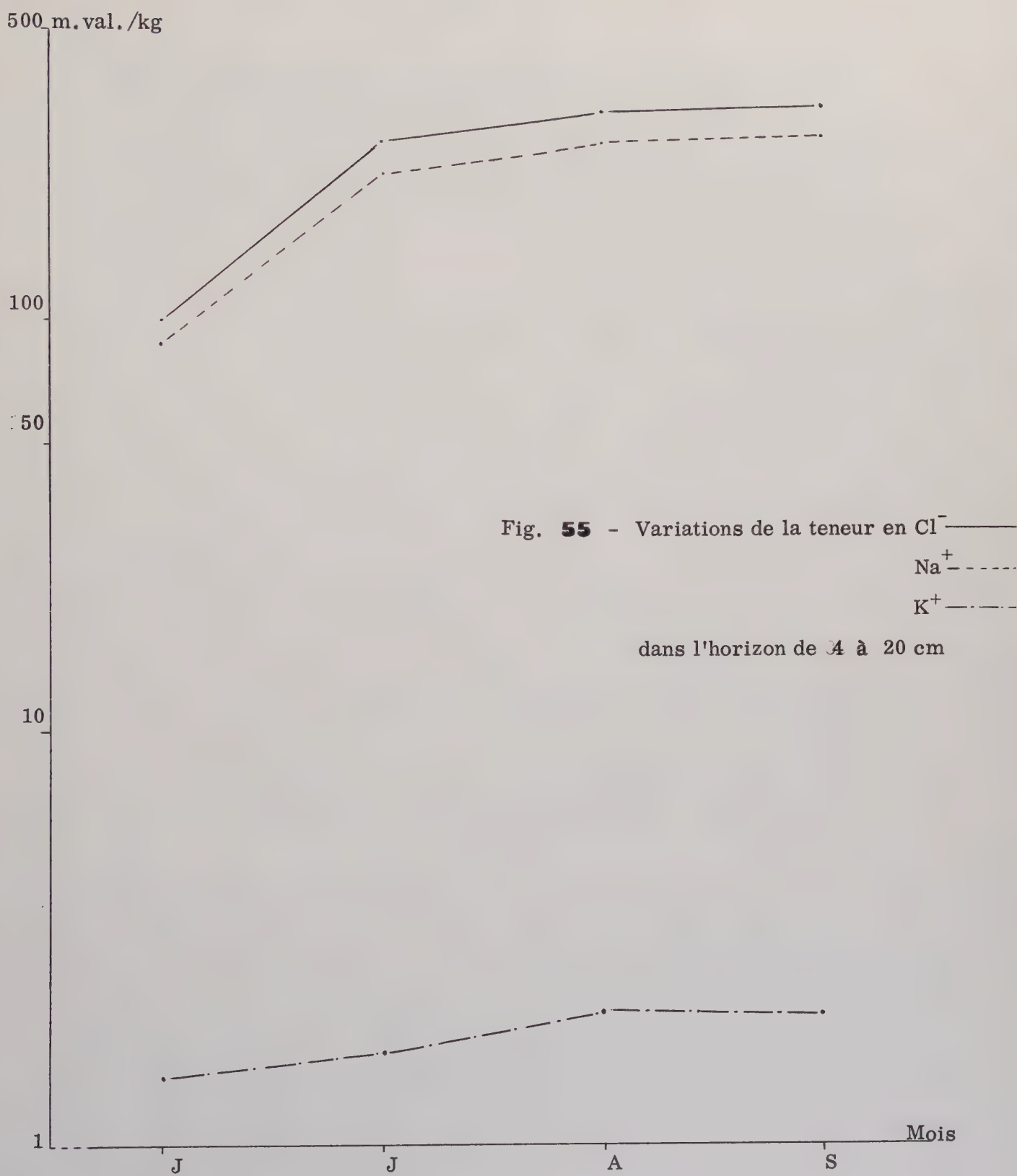
● VARIATIONS QUALITATIVES

En plus des mesures de la salinité totale, nous avons suivi les variations de la teneur en Cl^- , Na^+ et K^+ des différents horizons du profil pendant la période de juin-septembre. Cette étude nous a montré, que dans tous les horizons du sol, les variations de la teneur en ces éléments sont en parallélisme étroit, ce que nous avons exprimé par les courbes de la figure N° **55** pour la couche d'enracinement située entre 4 et 20 cm de profondeur du profil.

On peut noter cependant le parallélisme de ces courbes avec celle de la salinité totale.

Pour les mêmes raisons que dans le cas des stations précédentes (pages 83 et 117), nous avons calculé les rapports Cl/Na et Na/K .

Le rapport Cl/Na ayant une valeur égale à 1,25, reste pratiquement invariable tout le long du profil, aussi bien dans les divers horizons qu'au cours des saisons.



Toutefois, la couche superficielle (0 à 4 cm) représente une exception à cet égard. Le rapport Cl/Na est sujet à de faibles variations en cours de saison, sa valeur variant entre 1,28 (en juin) et 1,34 (en septembre). La figure N° **56** représente ces variations.

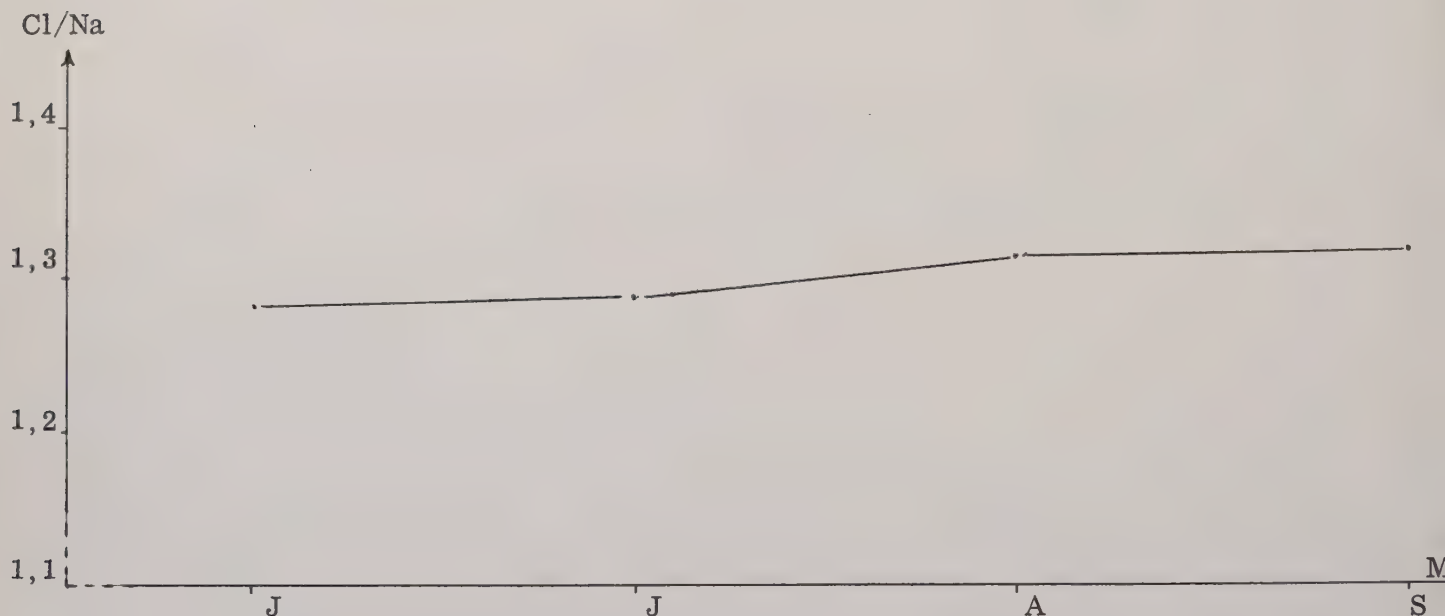
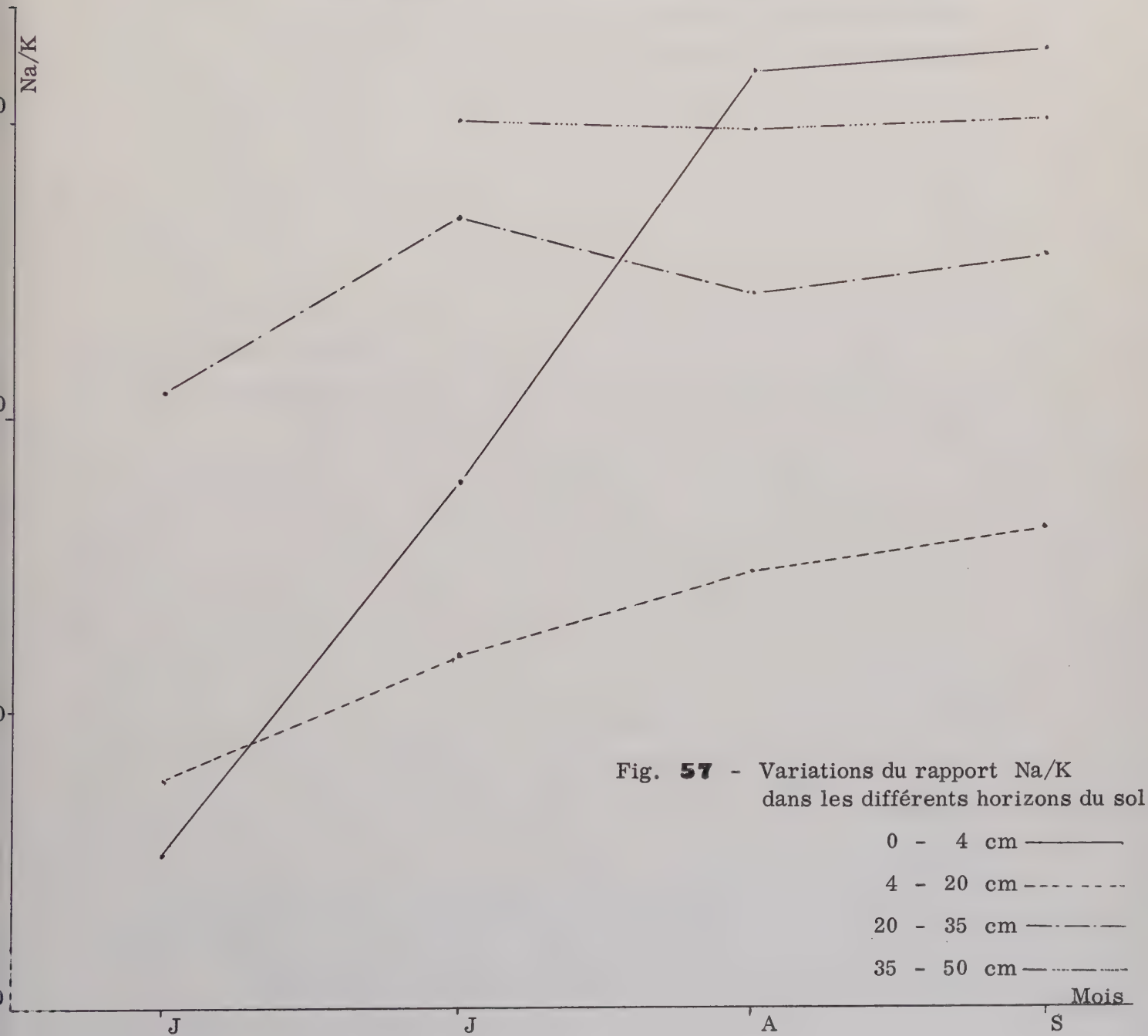


Fig. **56** - Variations du rapport Cl/Na dans l'horizon 0 - 4 cm

De telles variations du rapport Cl/Na ont été observées également dans la station de la crique de l'Angle (voir page 117). L'hypothèse que nous en avons formulée semble être valable également dans cette station.

La comparaison des deux figures N^{os} **54** et **56** suggère qu'il existe des relations entre les variations de la salinité et celles du rapport Cl/Na . La remontée du sel semble augmenter la valeur de ce rapport.

Les valeurs du rapport Na/K diffèrent suivant les horizons du profil et les saisons. Nous les avons représentées sur la figure N° **57**. Cette figure montre que l'amplitude des variations de ce rapport est beaucoup plus grande dans la couche superficielle (0 à 4 cm) que dans les autres horizons.



Les fluctuations du rapport paraissent être en parallélisme avec les variations des sels totaux. Au mois de juin, ce rapport a sa valeur minimale (76); à cette époque, le sol est peu salé en surface. L'abaissement de la valeur du rapport, à cette époque, est peut-être dû à un équilibre établi entre les sels solubles de la surface et ceux de l'eau qui a inondé la station d'octobre à mai, laquelle est proportionnellement riche en K (Na/K y varie entre 62 et 98).

En cours de saison, on observe une rapide remontée de ce rapport (224 en septembre). Nous pensons que cela pourrait être dû au fait que les sels remontant en surface sont proportionnellement moins riches en K^+ qui se trouverait déjà dans le sol. En effet, ils proviennent de la nappe salée, et nous avons vu que l'eau de celle-ci est pauvre en K^+ ; au mois de septembre, son rapport Na/K est de 405.

L'amplitude des variations du rapport Na/K est moins grande dans les autres horizons du profil. Ces couches sont également marquées par une salinité variant peu.

Le parallélisme entre les variations de la salinité et celles du rapport Na/K se manifeste de façon plus ou moins accentuée dans tous les horizons du sol. Dans tout, l'augmentation de la salinité est accompagnée d'une remontée du rapport Na/K . L'explication en serait l'hypothèse que nous avons donnée dans le cas de la couche superficielle. Il est évident que les variations éventuelles de la proportion du Na^+ sont susceptibles de modifier le rapport Na/K . Or, il nous a semblé que la proportion du Na^+ ne subit pas de variations sensibles en cours de saison. La preuve en était la position quasi stable du rapport Cl/Na dans tous les horizons, à l'exception des faibles variations dans la couche superficielle.

Quelle que soit l'explication de ces variations, leur constatation est importante. Elles permettent, en effet, de conclure que les variations saisonnières de la salinité sont aussi bien quantitatives que qualitatives.

Il est également très important de remarquer que les horizons inférieurs du profil sont marqués par des valeurs du rapport Na/K plus élevées que celles des couches supérieures.

La zone d'abondance des racines (4 à 20 cm) a eu pendant toute la saison des valeurs du rapport Na/K les moins élevées. En faisant abstraction de la couche superficielle (0 à 4 cm), dont la salinité est sujette à des variations importantes, il existe un gradient croissant du rapport Na/K avec la profondeur.

Ainsi, les horizons inférieurs du profil semblent être proportionnellement moins riches en K^+ que les couches supérieures.

L'analyse statistique des variations du rapport Na/K montre qu'il existe au niveau de la station :

- des différences significatives entre les horizons : l'horizon de 4 à 20 cm, zone d'enracinement, a un rapport de Na/K significativement plus petit que les autres horizons du profil;
- des différences significatives entre les valeurs observées au mois de juin et au mois de septembre. Les variations saisonnières ont donc leur importance.

ÉTUDE DU CALCIUM ACTIF

Les variations saisonnières de la teneur en Ca^{++} actif des différentes couches du sol sont représentées sur la figure N° 58.

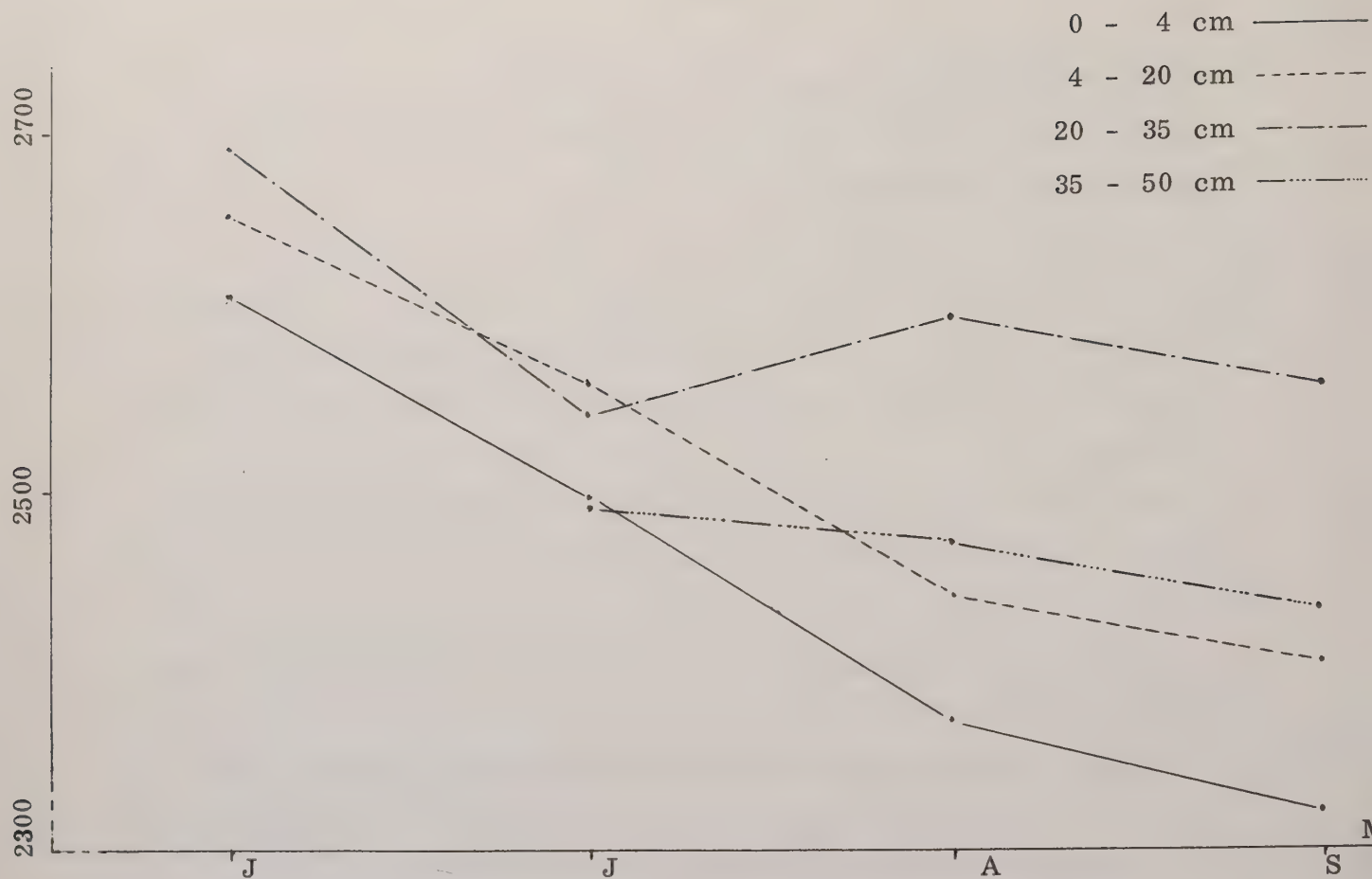


Fig. 58 - Variations saisonnières de la teneur en Ca^{++} actif dans les différents horizons

Les prélèvements des échantillons sur lesquels porte cette étude ont été effectués pendant la période de juin - septembre 1966.

La figure montre que l'horizon superficiel de 0 à 4 cm reste, pendant toute cette période, moins riche en Ca^{++} actif que les autres horizons.

Au cours de la période inondée, on observe une diminution plus ou moins régulière du Ca^{++} actif dans tous les horizons du sol.

L'analyse statistique des variations du Ca^{++} actif a montré que les différences entre les teneurs en Ca^{++} actif des quatre horizons sont significatives seulement en septembre.

Quant aux variations saisonnières, elles ne sont significatives que d'août à septembre.

La teneur en Ca^{++} actif de l'horizon de 4 à 20 cm, riche en racines, a été très voisine de celle de la couche de 35 à 50 cm, très pauvre en racines, pendant la période de juillet - septembre. Les différences entre les teneurs en Ca^{++} actif de ces deux couches ne sont pas significatives, ce qui montre qu'il n'existe pas de parallélisme entre les variations du Ca^{++} actif et la répartition des racines.

DEUXIÈME STATION

DU MARAIS DE LA GRANDE PALUDE

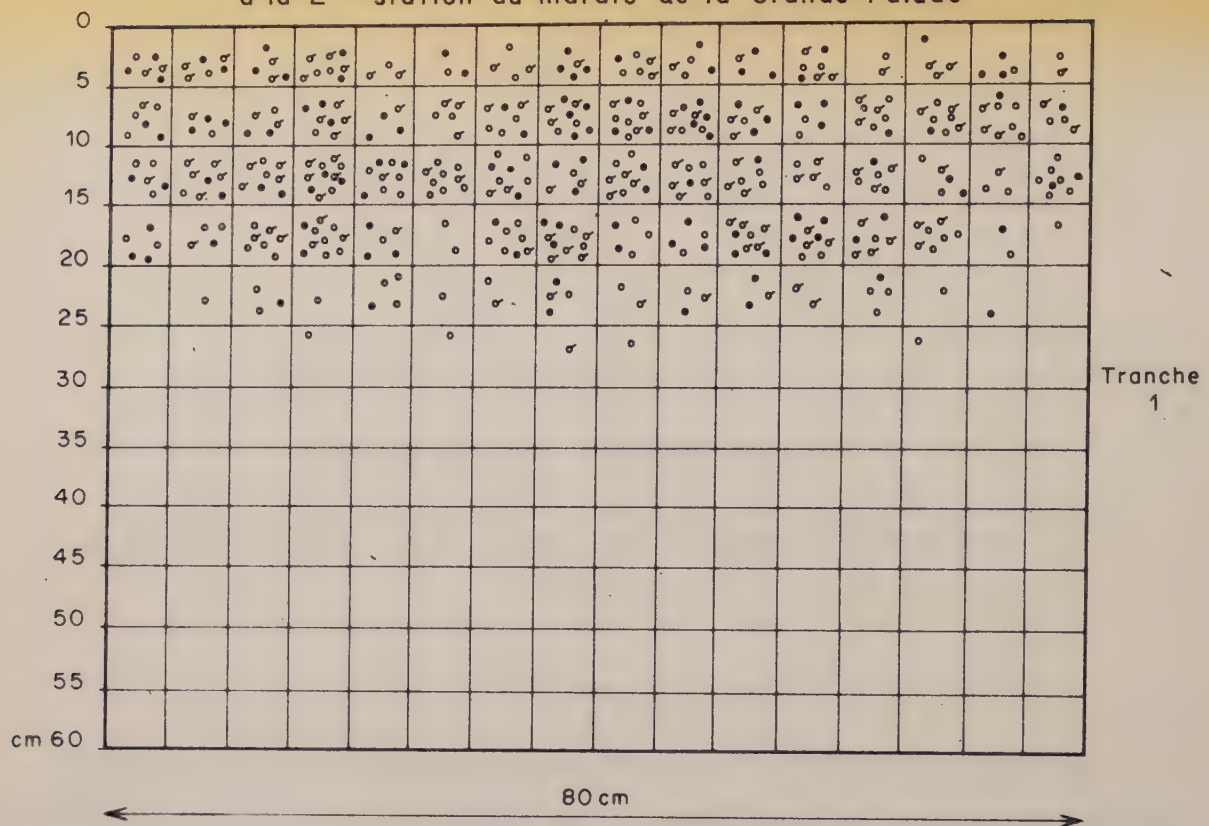
La végétation de la deuxième station a la même composition floristique que celle de la première. Les espèces qui accompagnent les deux Arthrocnemum sont également les mêmes; mais les espèces marécageuses sont relativement moins fréquentes.

La physionomie, par contre, de la végétation dans la deuxième station est différente de celle de la première; du fait que les touffes des deux Arthrocnemum sont beaucoup moins hautes, plus larges et plus distantes les unes des autres dans la première station.

La végétation est essentiellement constituée par A. glaucum qui est l'espèce dominante et couvre 95 % de la surface du tapis végétal.

A. fruticosum n'occupe que 2 à 3 % de la surface, par des touffes lâches et petites.

Répartition des racines d'*A. glaucum* dans le sol
à la 2^{ème} station du marais de la Grande Palude



○ Racines de l'individu N° 1
● // N° 2
♂ // N° 3

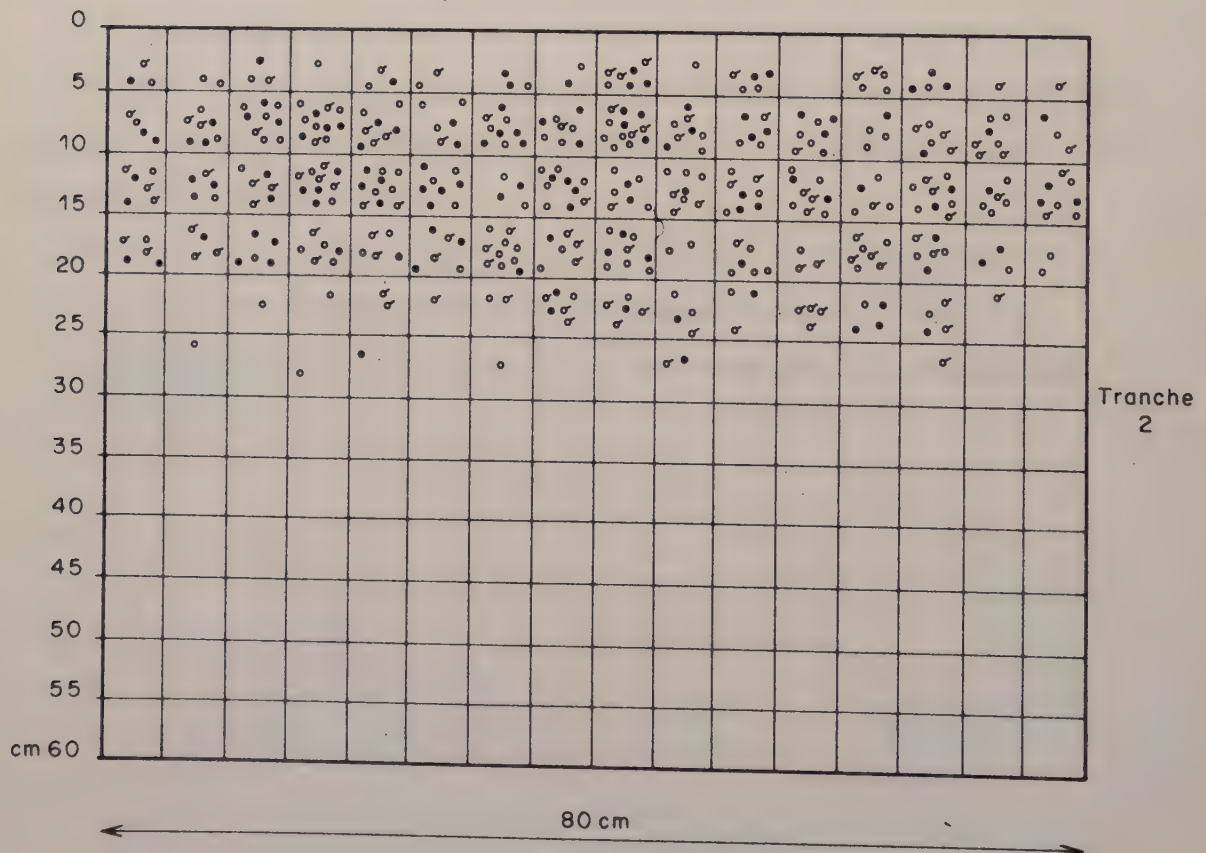


Fig. 59

A. GLAUCUM ET SON ENRACINEMENT

A. glaucum se présente dans cette station sous forme de touffes appliquées au sol, atteignant 80 à 150 cm de diamètre, et en général 30 à 35 cm de hauteur.

Le mode de développement des racines, l'abondance des racines adventives et la précocité de l'apparition de celles-ci sont des caractères communs des touffes d'A. glaucum des deux stations.

Il en est de même quant à la proportion et à la longueur des racines adventives, et quant à la longueur des racines secondaires. L'étude de l'appareil racinaire montre que la localisation des racines dans les couches superficielles est extrêmement nette dans cette station.

La figure N° **59** représente la position des racines dans les profils verticaux. Elle illustre les racines de trois individus, chacun désigné par un signe particulier, le choix de ces individus ayant été fait comme ceux de la station de l'Espiguette.

Deux tranches ont été faites, l'une au centre, l'autre à 30 cm du centre de la touffe. On remarque que dans tous les deux profils les couches inférieures, au-delà de 25 cm, sont complètement dépourvues de racines.

La mesure du poids des racines à des profondeurs différentes permet de chiffrer la répartition des racines par les figures N^{os} **60** et **61**.

Seules 1,33 % des racines sont réparties au-delà de 20 cm.

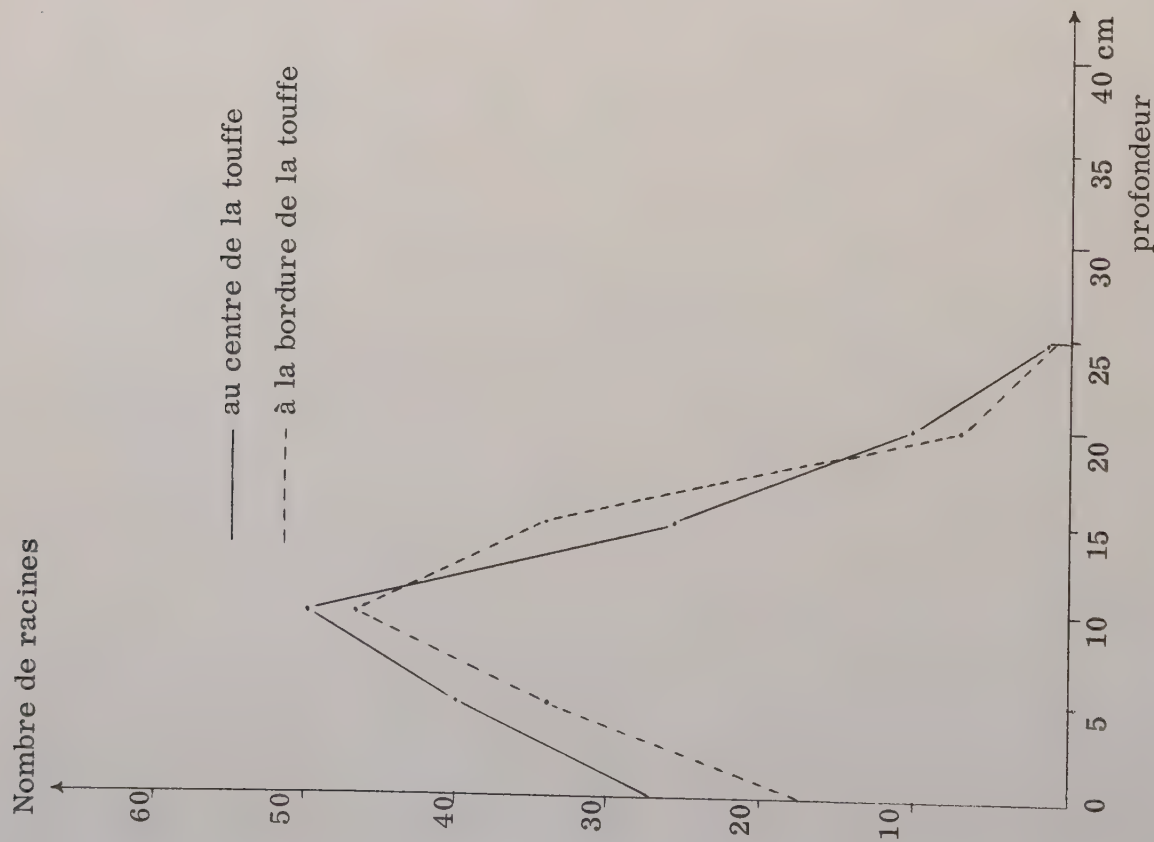


Fig. 60 - Variations du nombre de racines en fonction de la profondeur.

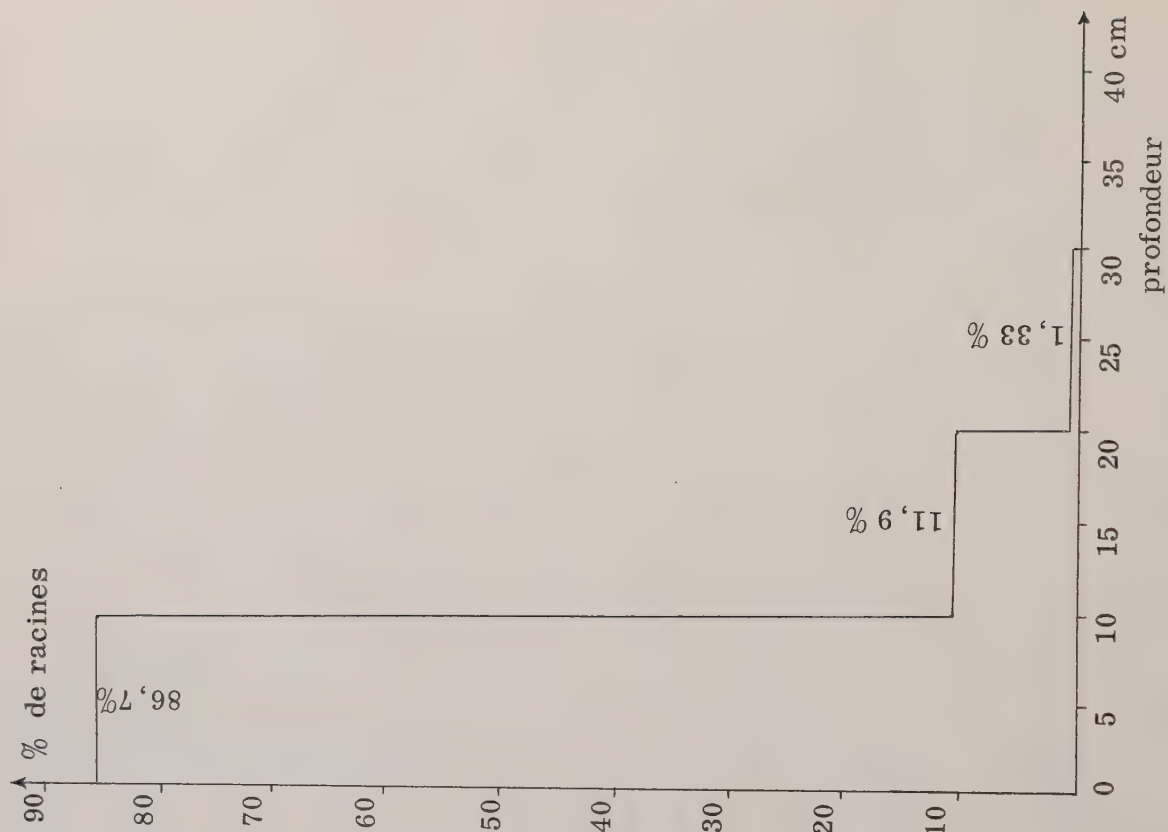
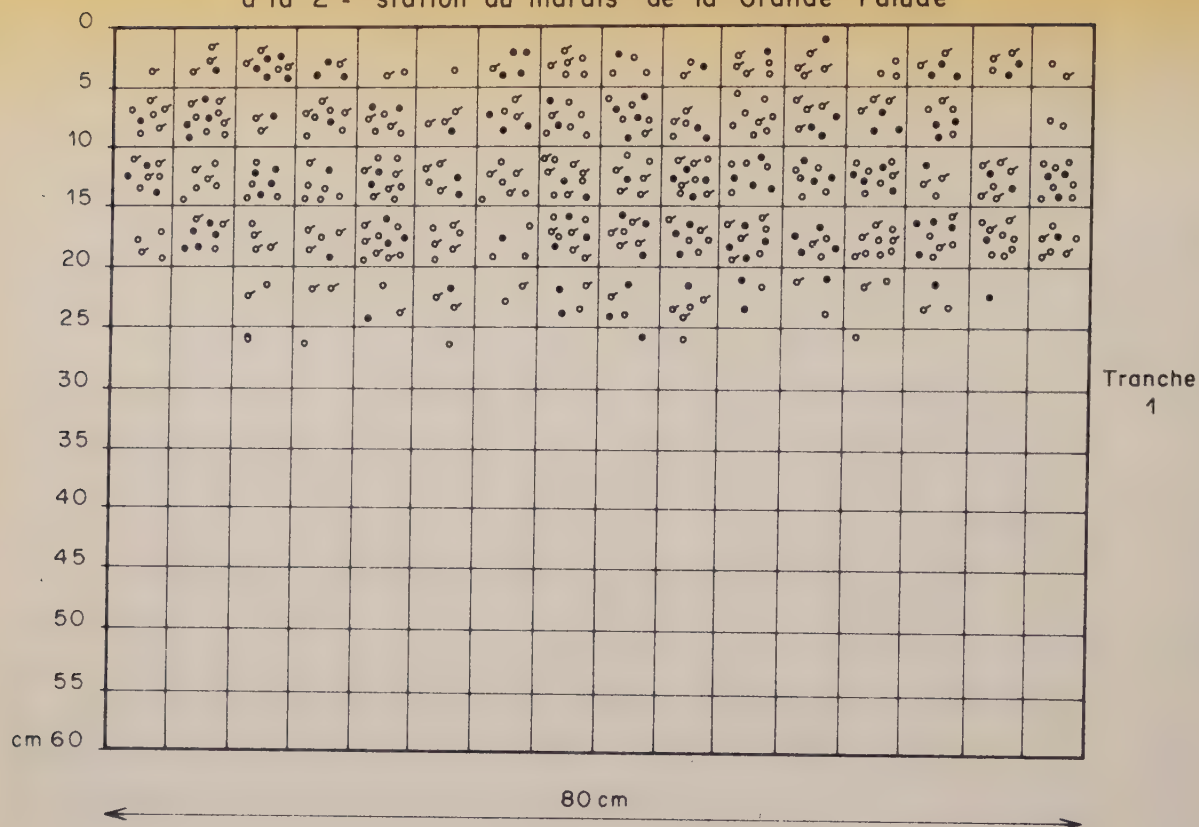


Fig. 61 - Variations du poids des racines (exprimées en pourcentage) en fonction de la profondeur.

Répartition des racines d'*A. fruticosum* dans le sol
à la 2^{ème} station du marais de la Grande Palude



○ Racines de l'individu N° 1
● // N° 2
σ // N° 3

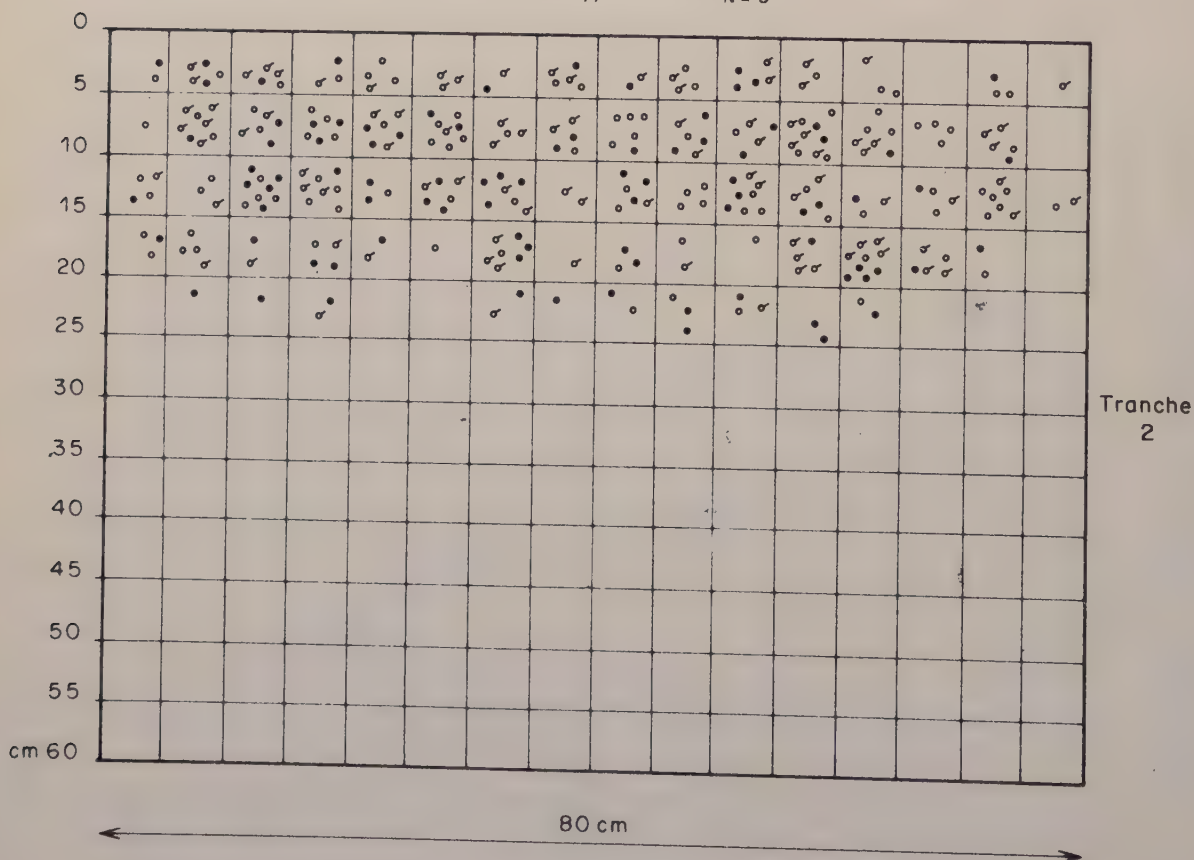


Fig. 62

A. FRUTICOSUM ET SON ENRACINEMENT

La physionomie des touffes d'A. fruticosum dans cette station est extrêmement différente de celle de la première. Elle est représentée par de rares touffes, très peu denses, qui couvrent la surface d'un cercle de 30 à 50 cm de diamètre; la hauteur en est de l'ordre de 40 à 50 cm.

L'étude de l'enracinement montre que, parallèlement aux variations de la physionomie de la touffe, son système racinaire subit dans son comportement des modifications comparables.

Les caractères morphologiques, tels que le mode de ramification, la proportion des racines adventives, et la longueur des racines secondaires, sont identiques à ceux des individus de la première station, mais la stratification des racines est essentiellement différente dans les deux stations.

Le système racinaire d'A. fruticosum dans la deuxième station est strictement localisé dans les couches superficielles de 0 - 25 cm du profil.

La figure N° **62** représente la répartition des racines dans les profils faits au centre et à 30 cm du centre de trois touffes d'A. fruticosum. Les racines de trois individus étudiés sont illustrées par trois signes différents.

On notera, d'après cette figure, que la localisation des racines de cette espèce est tout à fait comparable à celle des racines d'A. glaucum dans cette même station. En ce sens que les horizons inférieurs, au-delà de 25 cm, sont pratiquement dépourvus de racines.

La mesure du poids des racines prélevées dans des cylindres nous a permis de constater que, dans une colonne verticale, à la bordure de touffe, les racines sont réparties de la façon suivante : (voir figures N^{os} **63** et **64**).

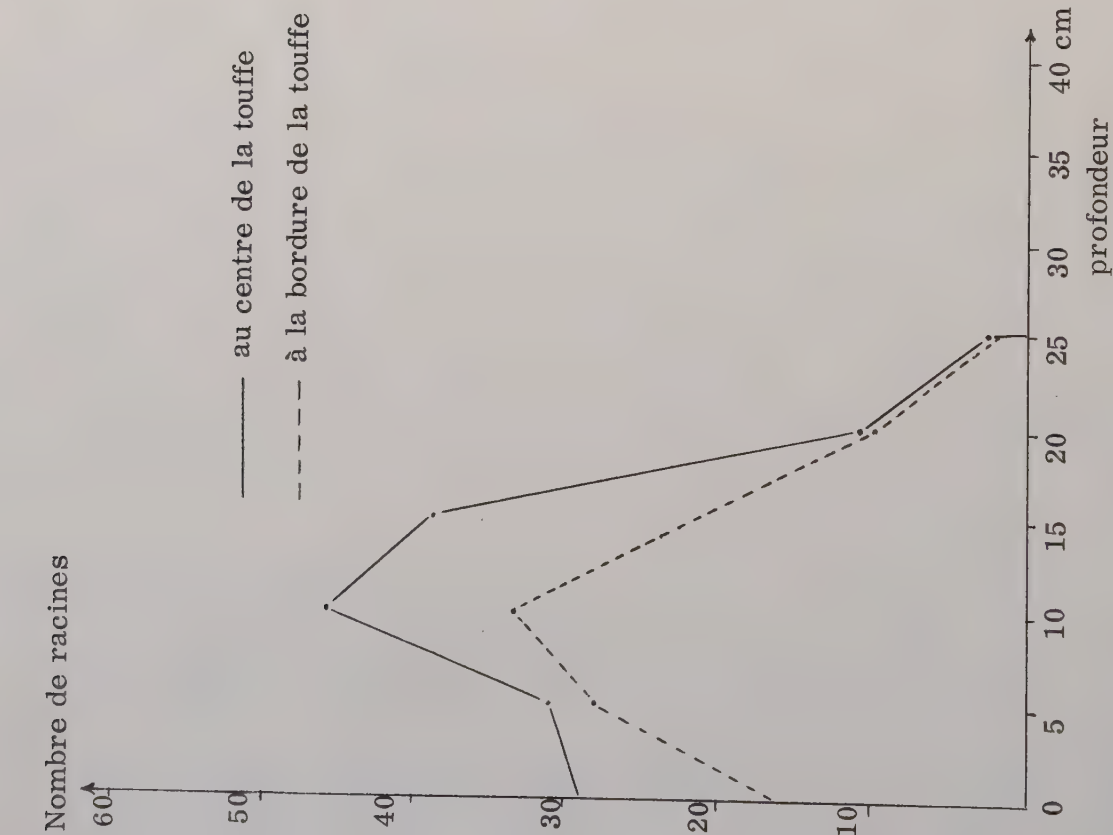


Fig. 63 - Variations du nombre de racines en fonction de la profondeur.

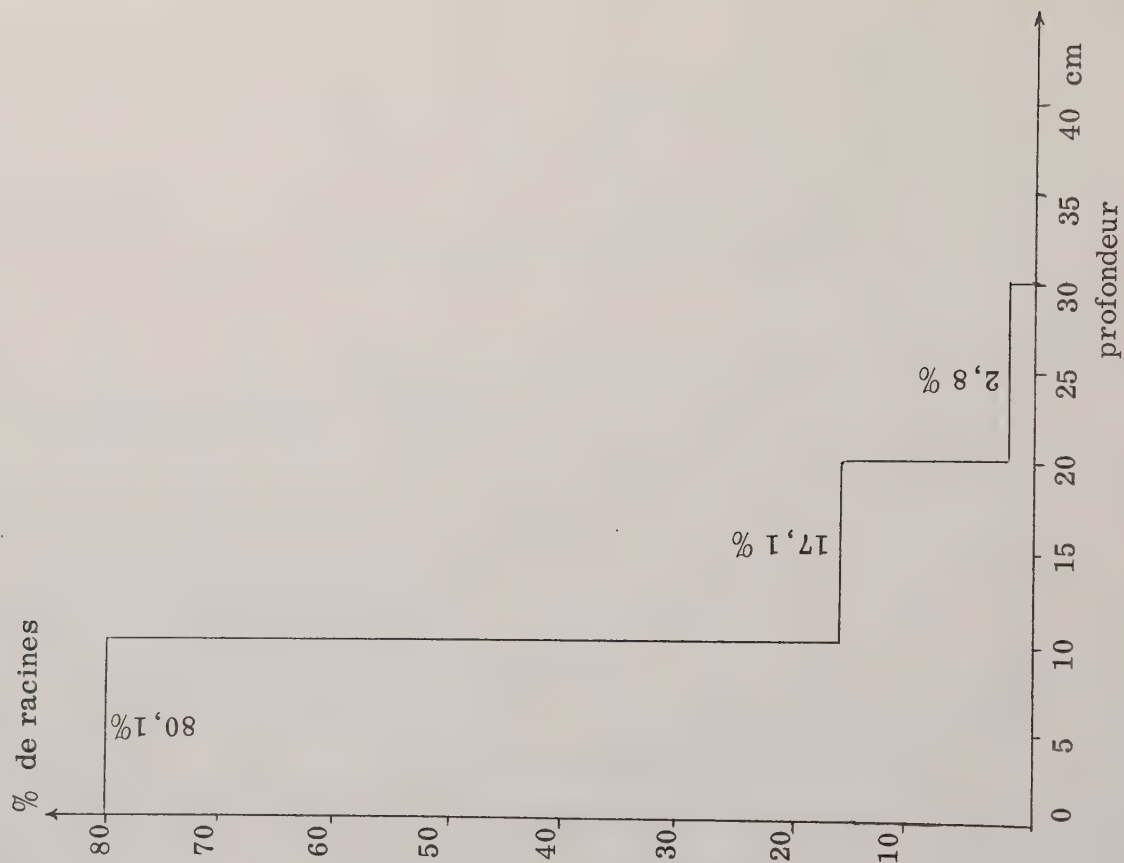


Fig. 64 - Variations du poids des racines (exprimées en pourcentage)

- 97 % de la masse des racines, 0 à 20 cm du profil,
dont 80,1 % dans la couche de 0 à 10 cm de surface,
- 2,8 % situées entre 20 et 30 cm de profondeur.

Ces résultats, ainsi que ceux relatifs à A. glaucum, sont les moyennes calculées à partir de dix échantillons pour chaque horizon.

En résumé, dans cette station, l'enracinement des deux espèces d'Arthrocnemum est comparable, mais il diffère nettement de celui que nous avons constaté dans la première station. Ces différences de comportement sont dues aux variations des facteurs écologiques déterminants, tels que la salinité de la nappe et du sol et surtout la structure du sol.

DESCRIPTION DU PROFIL PÉDOLOGIQUE

Les propriétés du sol dans la deuxième station sont régies par les mêmes facteurs que dans la première. De ce fait, les caractères pédologiques des deux profils sont très semblables. On distingue :

- 1° 0 - 4 cm, horizon riche en matière organique, couleur jaune pâle (2,5 Y 7/3); effervescence à Cl H forte et brève.
- 2° 4 - 20 cm, zone d'abondance des racines, couleur gris clair (5 Y 7/2); effervescence à Cl H forte et brève.
- 3° 20 - 35 cm, horizon dépourvu de racines, couleur gris clair (5 Y 7/2); effervescence à Cl H forte et brève.
- 4° 35 - 55 cm, horizon de couleur gris olive claire (5 Y 6/2), fortement affecté par l'hydromorphie de la nappe. Racines et radicelles complètement absentes. C'est un horizon de gley qui constitue le reste du profil.

La différence essentielle entre les profils de nos deux stations réside dans ce fait que l'hydromorphie de profondeur est beaucoup plus accentuée dans la seconde station que dans la première.

● TEXTURE

Les résultats des analyses granulométriques des différentes couches du profil sont représentées sur la figure N° 65 et le tableau N° 14.

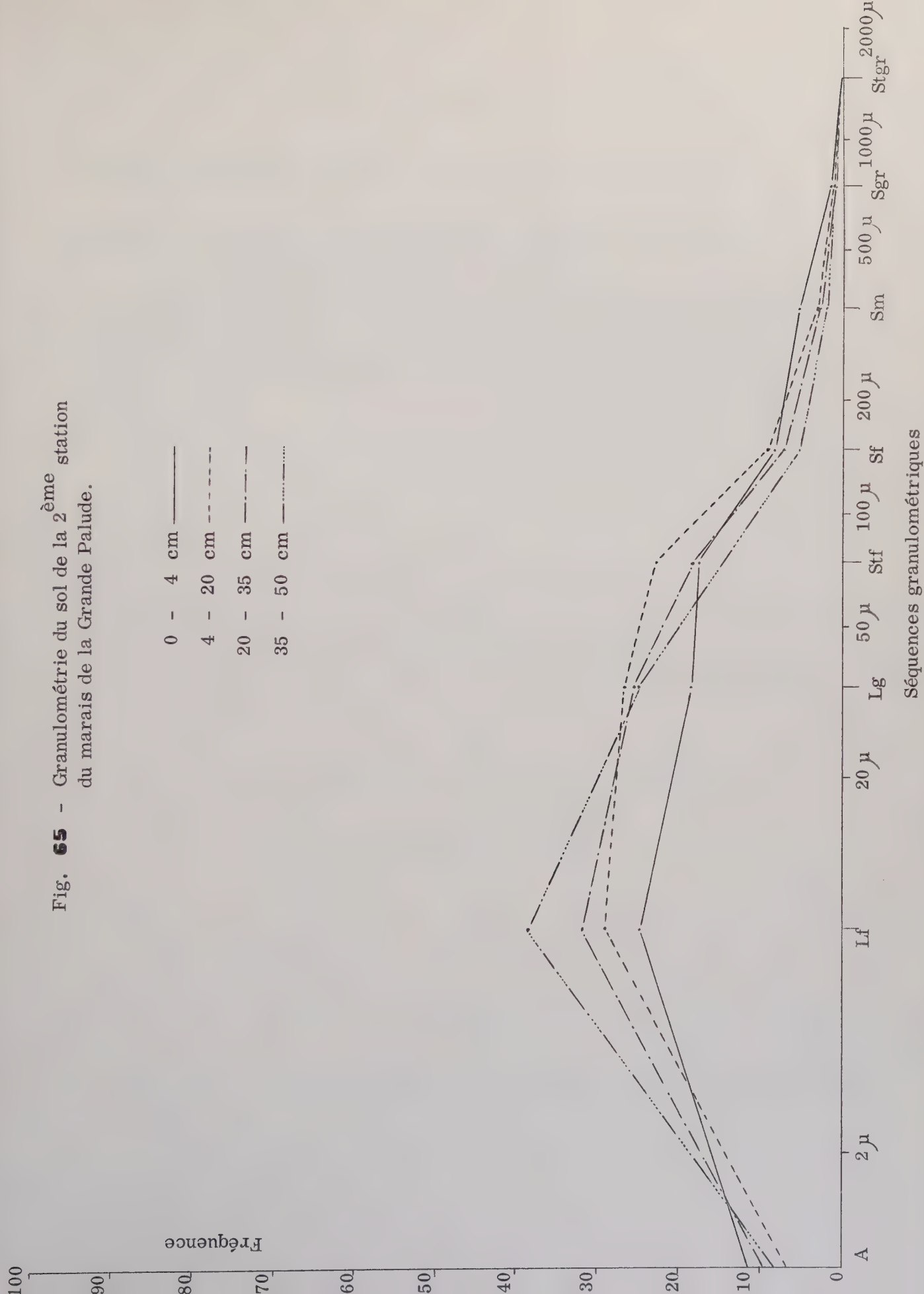
Tableau N° 14

Analyse granulométrique

Composants	Diamètre en μ	Profondeur en cm				
		0 - 4 %	4 - 20 %	20 - 35 %	35 - 50 %	50 - 65 %
Argile	< 2	11,40	6,90	9,20	8,80	12,90
Limon fin	2-20	43,19	55,05	58,02	64,26	61,00
Limon grossier	20-50					
Sable	50-100	17,60	22,81	18,07	16,71	14,94
	100-200	8,62	8,65	7,93	4,65	6,09
	200-500	5,23	3,69	3,40	2,38	2,47
	500-1000	1,71	1,04	1,62	1,43	1,35
	1000-2000	0	0	0	0	0
M. organique	—	12,20	1,84	1,74	1,73	1,22
Type de texture	—	Lf	Lf	Lf	Lf	Lf

Fig. 65 - Granulométrie du sol de la 2^{ème} station
du marais de la Grande Palude.

0 - 4 cm ———
4 - 20 cm - - -
20 - 35 cm - · - ·
35 - 50 cm - · · · · ·



Ces résultats montrent que l'ensemble du profil est de texture limoneuse fine.

Il existe une légère augmentation de la teneur en limon fin en fonction de la profondeur, ce qui serait dû à un faible lessivage du profil.

Cependant, les variations de la texture sont minimales dans le sol, et le profil est homogène de ce point de vue. On remarquera également que la composition granulométrique du sol des deux stations du marais de la Grande Palude est pratiquement la même.

● pH

Les valeurs du pH dans les différents horizons du profil sont pratiquement les mêmes, et elles ne subissent pas de variations sensibles en cours de saison.

Voici les valeurs du pH dans les différentes strates du profil que nous avons noté au mois d'août 1966. (Tableau N° 15)

Tableau N° 15

Variation du pH avec la profondeur

Profondeur en cm	pH
0 - 4	7,9
4 - 20	7,9
20 - 35	7,85
35 - 50	7,85

Les variations saisonnières étaient insaisissables.

● STRUCTURE

L'état structural du profil est nettement meilleur dans les horizons supérieurs qu'en profondeur.

La couche superficielle de 0 - 20 cm est caractérisée par une structure du type granuleux, nette et assez stable. L'horizon inférieur de 20 à 35 cm possède une structure particulière massive avec un début de structuration de type polyédrique.

Au-delà de 35 cm, la structure est strictement massive.

Cette variation de la structuration s'exprime par des changements parallèles de la densité apparente et de la porosité.

L'horizon 0 - 20 cm a une densité apparente égale à 1,03 g/ml; pour la couche 20 - 35 cm, la valeur est de 1,40 g/ml.

La densité apparente augmente un peu avec la profondeur. Elle a été de 1,43 g/ml pour l'horizon de 35 - 55 cm et 1,46 g/ml au-delà de cette couche. (Figure N° 66)

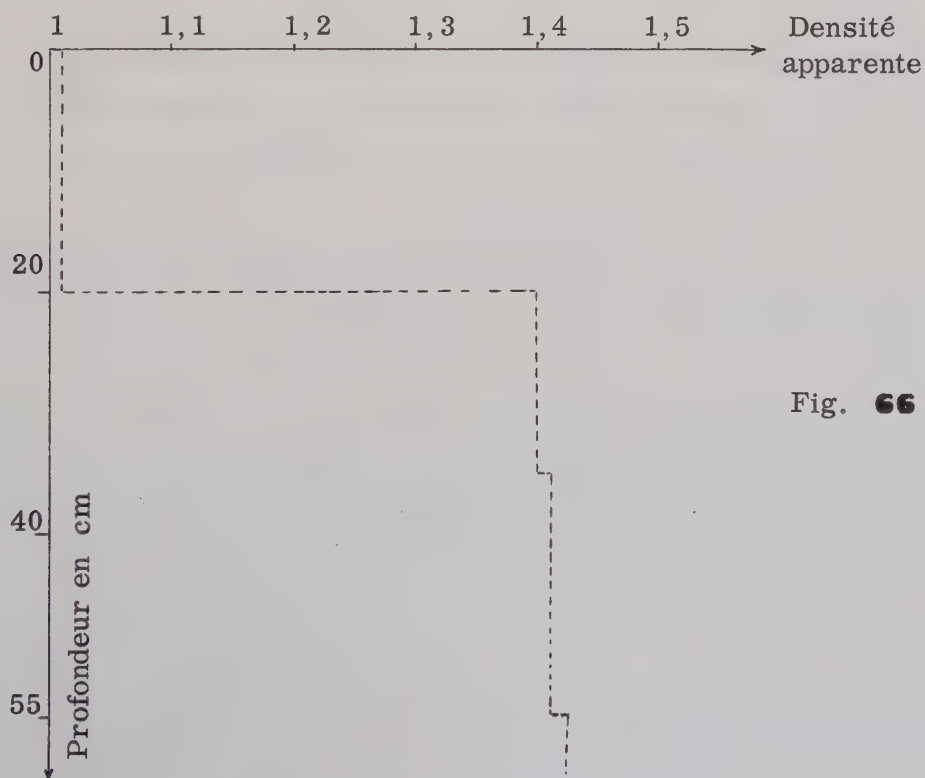


Fig. 66 - Variations de la densité apparente en fonction de la profondeur.

Nous avons pu ainsi calculer la porosité totale des différents horizons (en admettant la valeur de 2,55 pour la densité réelle) :

0 à 0 cm	porosité =	59,5 %
20 à 35 "	" =	45,10 %
35 à 55 "	" =	43,9 %
55 à 65 "	" =	42,7 %

ÉTUDE DE LA NAPPE PHRÉATIQUE

Notre étude sur la nappe porte sur la période de juin-octobre, période durant laquelle l'arrêt de la submersion permet d'étudier la nappe. Les variations du niveau et de la salinité ont été suivies.

La figure N° **67** représente les variations de la hauteur. Au mois de juin, le plan d'eau se trouve à 54 cm de la surface. Au cours de l'été, la descente est progressive; la profondeur maximale a été notée en août (125 cm).⁽¹⁾

La figure N° **68** représente les variations de la teneur en sels totaux. L'amplitude de ces variations est assez faible et les deux valeurs extrêmes ont été 83,76 g/l et 99,81 g/l.

En plus de l'étude de la salinité totale, les variations de la teneur en Cl^- , Na^+ et K^+ ont été suivies. Les résultats sont représentés sur la figure N° **69**.

(1) Les mouvements de la nappe dans le sol sont accompagnés par une légère variation de la couleur des horizons, une teinte gris foncé, faiblement noirâtre, parcourt le profil du sol avec la nappe. Ce phénomène ne s'observe pas dans la première station de ce marais.

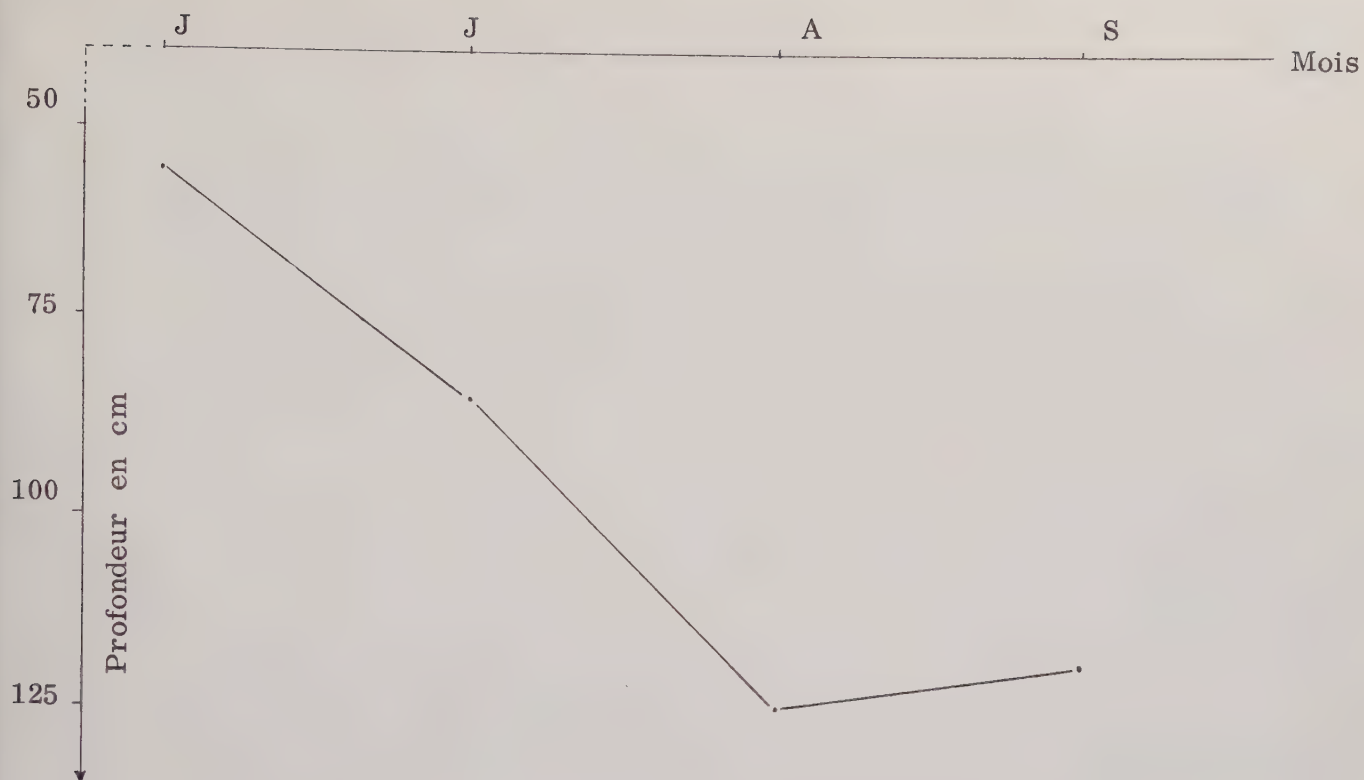


Fig. 67 - Variations saisonnières du niveau de la nappe.

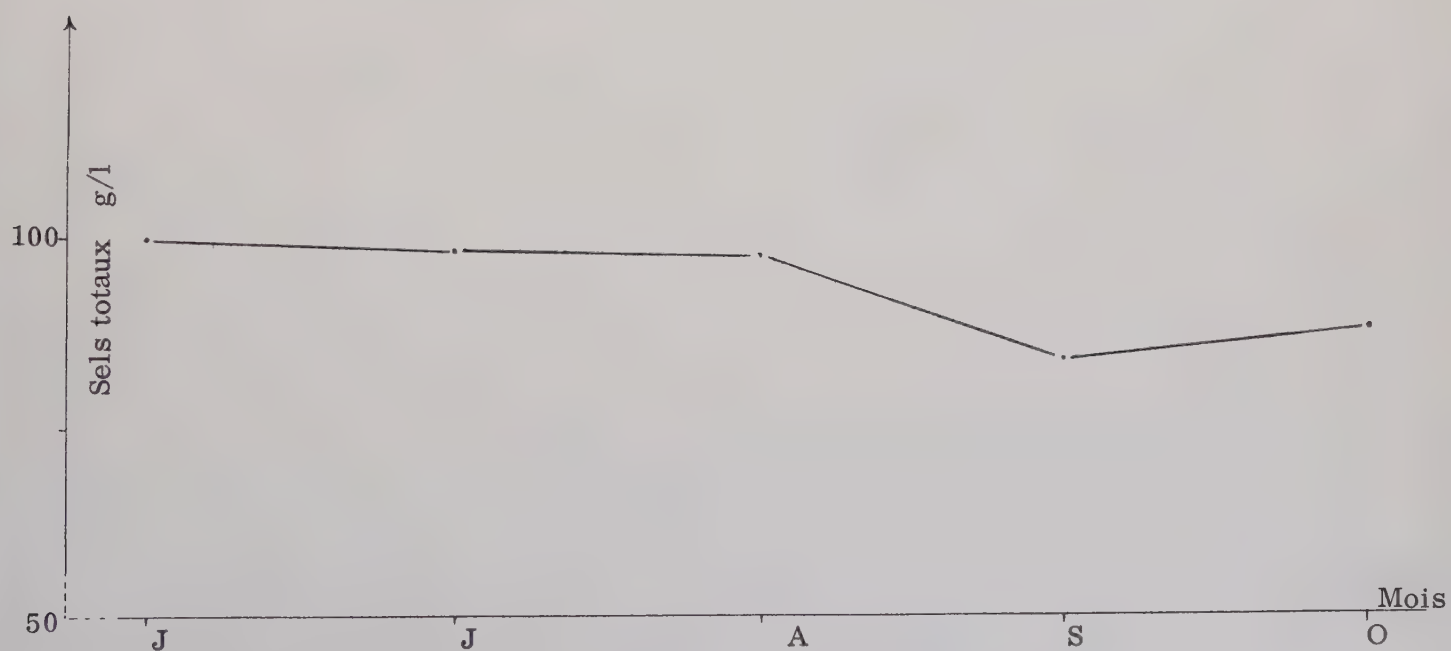


Fig. 68 - Variations saisonnières de la salinité de la nappe.

3000 m.val./l

2000

1000

100

10

1

Fig. 69 - Variations saisonnières de

la teneur en Cl^- ———

Na^+ - - - - -

K^+ — · — · —

dans la nappe.

J

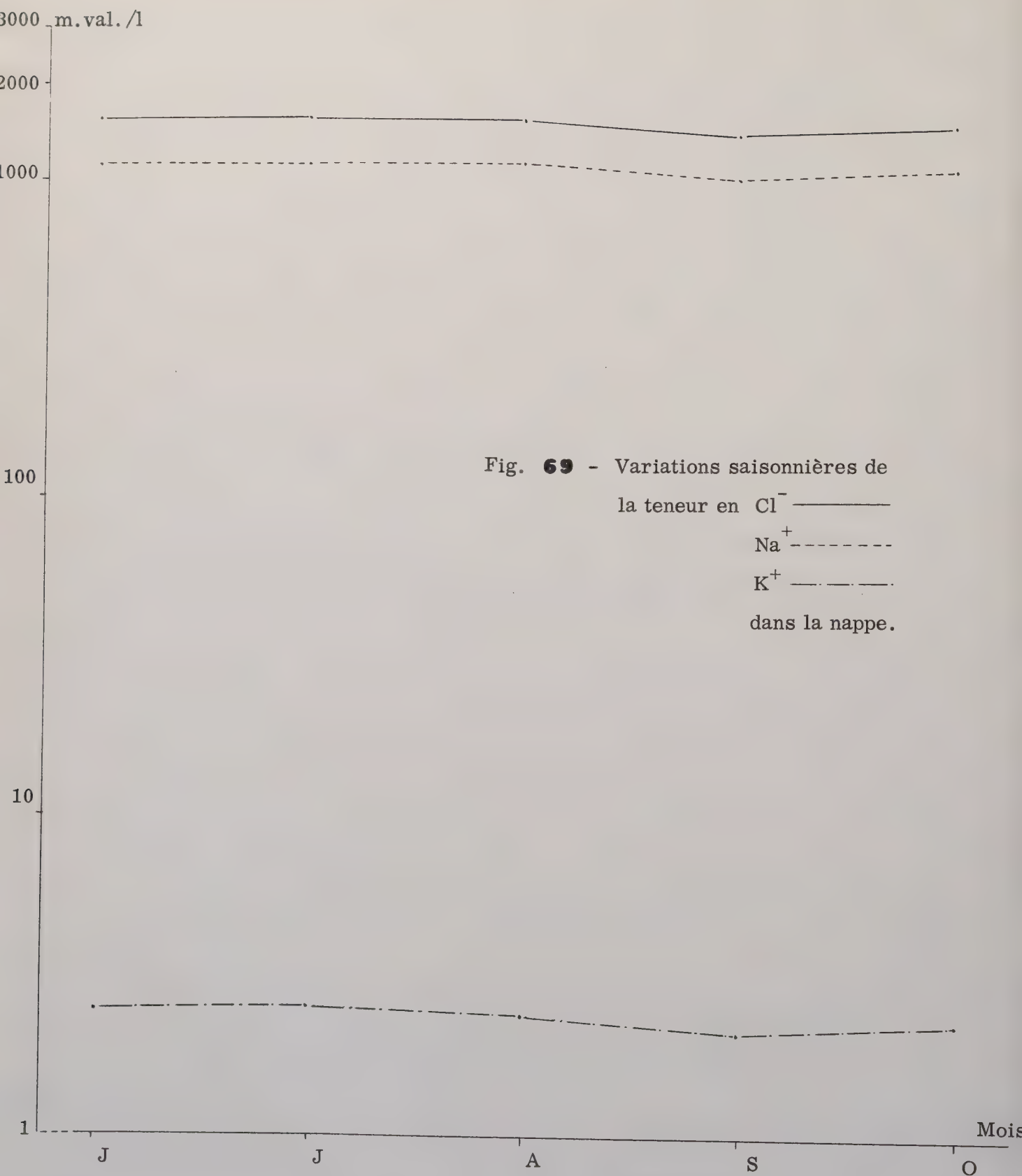
J

A

S

O

Mois



On remarque sur cette figure que les variations des éléments sont en parallélisme étroit entre eux, et qu'elles le sont également avec les variations de la salinité totale.

Les figures N^{os} **70** et **71** représentent les variations des rapports Cl/Na et Na/K.

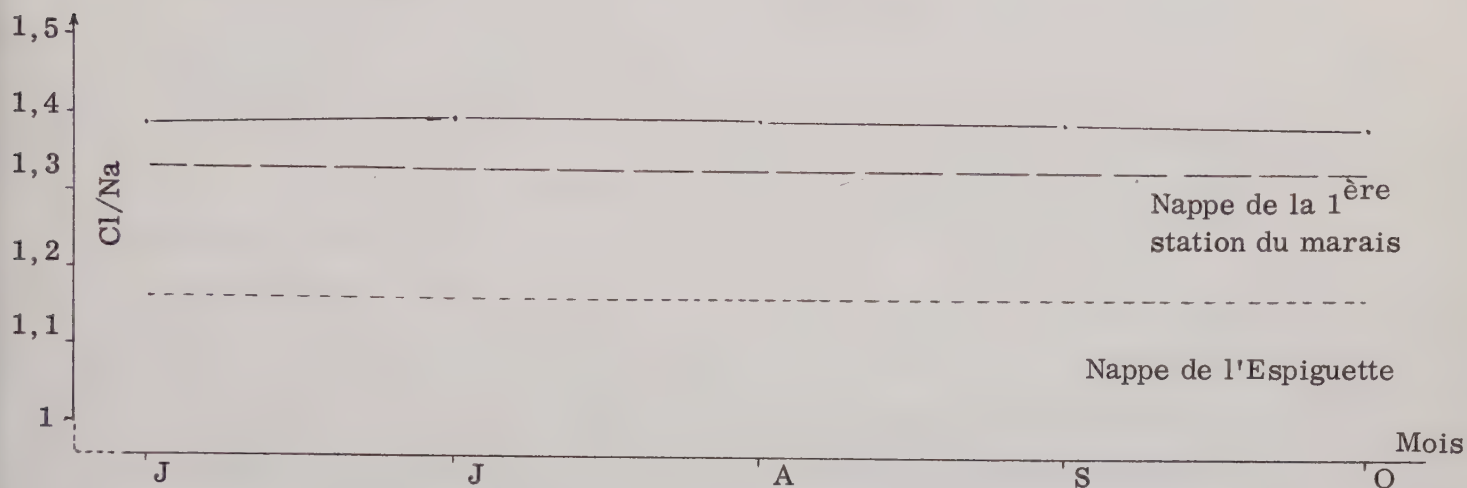


Fig. **70** - Variations saisonnières du rapport Cl / Na.

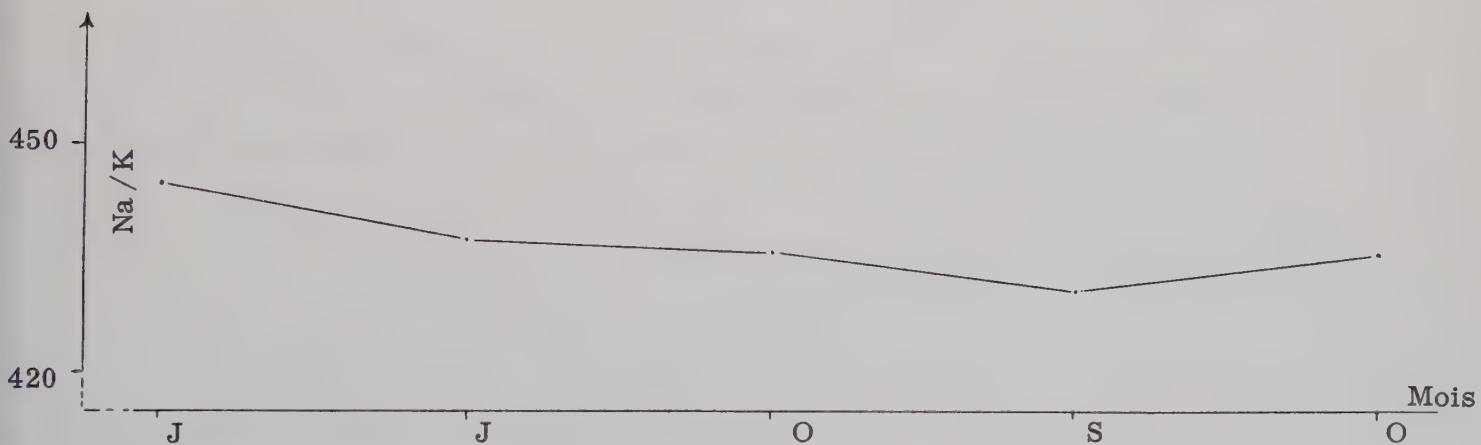


Fig. **71** - Variations saisonnières du rapport Na / K dans la nappe.

Le rapport Cl/Na ne subit pas de variations sensibles, sa valeur est de l'ordre de 1,39 (donc plus élevée que dans la nappe de la première station de ce marais, et également beaucoup plus élevée que dans la nappe de l'Espi-guette).

Par contre, le rapport de Na/K est sujet à des fluctuations quoique faibles; il varie entre 438 et 445.

Comme dans les stations précédentes, nous pensons que les variations du rapport Na/K sont dues aux fluctuations de la proportion du K^+ dans les sels solubles dont il a été question dans les trois stations précitées.

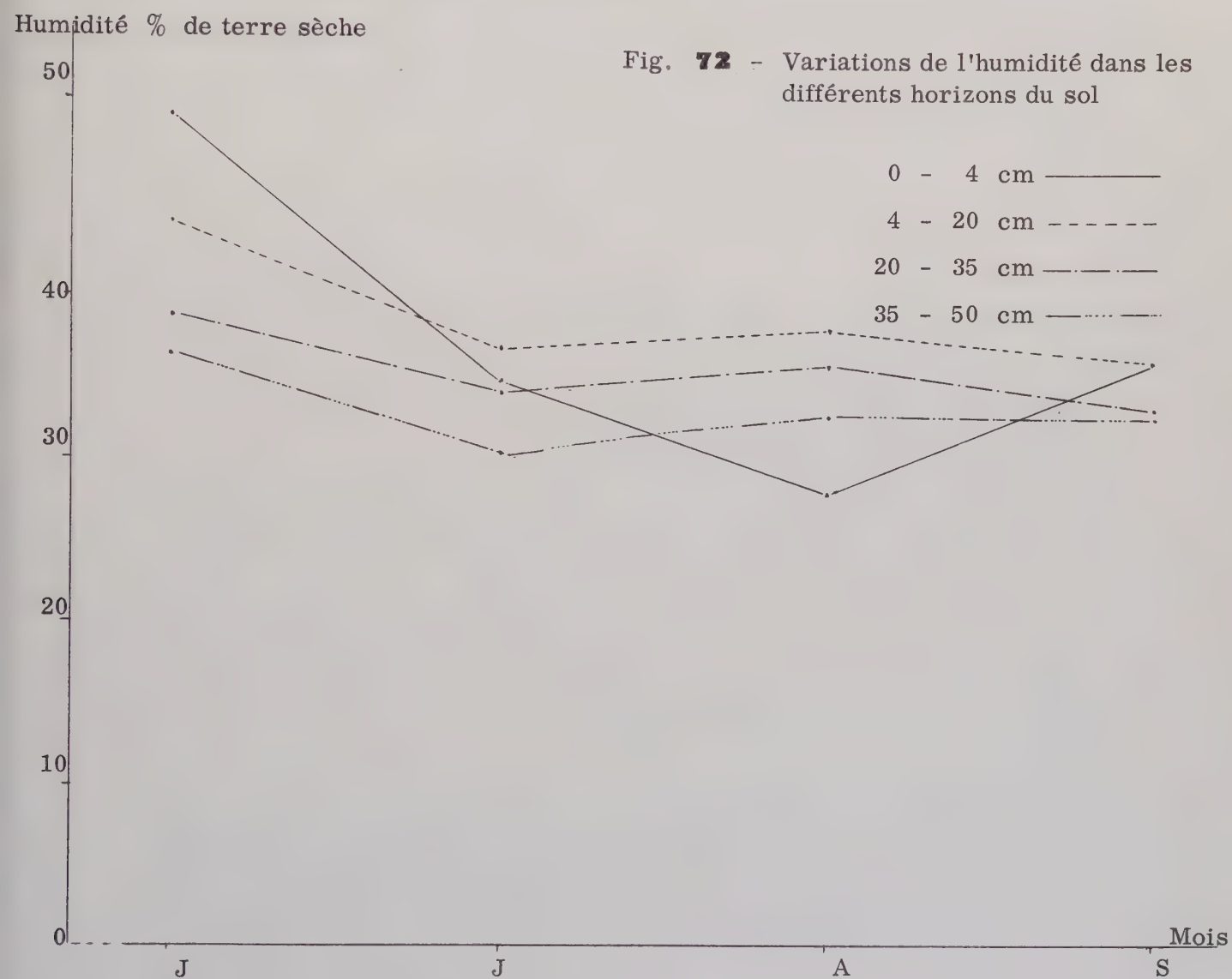
Au mois d'octobre 1966, l'installation préalable des tubes piézométriques a permis de prélever des échantillons de la nappe profonde, malgré le rétablissement de la submersion. Les résultats des analyses, pour ce mois, ont été portées sur les figures N^{os} **68**, **69**, **70** et **71**.

En comparant les résultats avec ceux du mois précédent, on constate que, malgré l'inondation par l'eau douce (3,76 g/l des sels totaux), la salinité de la nappe et sa composition n'ont pas changé en profondeur. On doit donc admettre que l'eau de submersion ne se mélange pas avec la nappe. Elle se superpose et reste très probablement moins salée que la nappe. (Nous renvoyons à l'étude des nappes dans les deux stations précédentes).

Ainsi pendant la période d'inondation, les horizons superficiels seraient engorgés par les lentilles d'eau peu salée qui proviennent de la surface, tandis que les couches inférieures sont affectées par la nappe fortement salée.

HUMIDITÉ

Les variations de la teneur en eau des différentes couches du sol ont été représentées sur la figure N° **72**.



On y remarque que l'amplitude des variations est très grande dans la couche superficielle (0 à 4 cm). Sa teneur en eau oscille, en effet, entre 49 % (en juin) et 23,6 % (en août).

Les variations de l'humidité sont de plus en plus atténuées en profondeur.

En excluant la couche superficielle de 0 à 4 cm, on observe un gradient décroissant de l'humidité en fonction de la profondeur. Toutefois, les différences entre les horizons ne sont pas très grandes. Il semble qu'elles soient dues aux variations de la structure du sol. Les couches supérieures ayant une porosité plus élevée que les couches inférieures ont une capacité de rétention plus grande à l'égard de l'humidité.

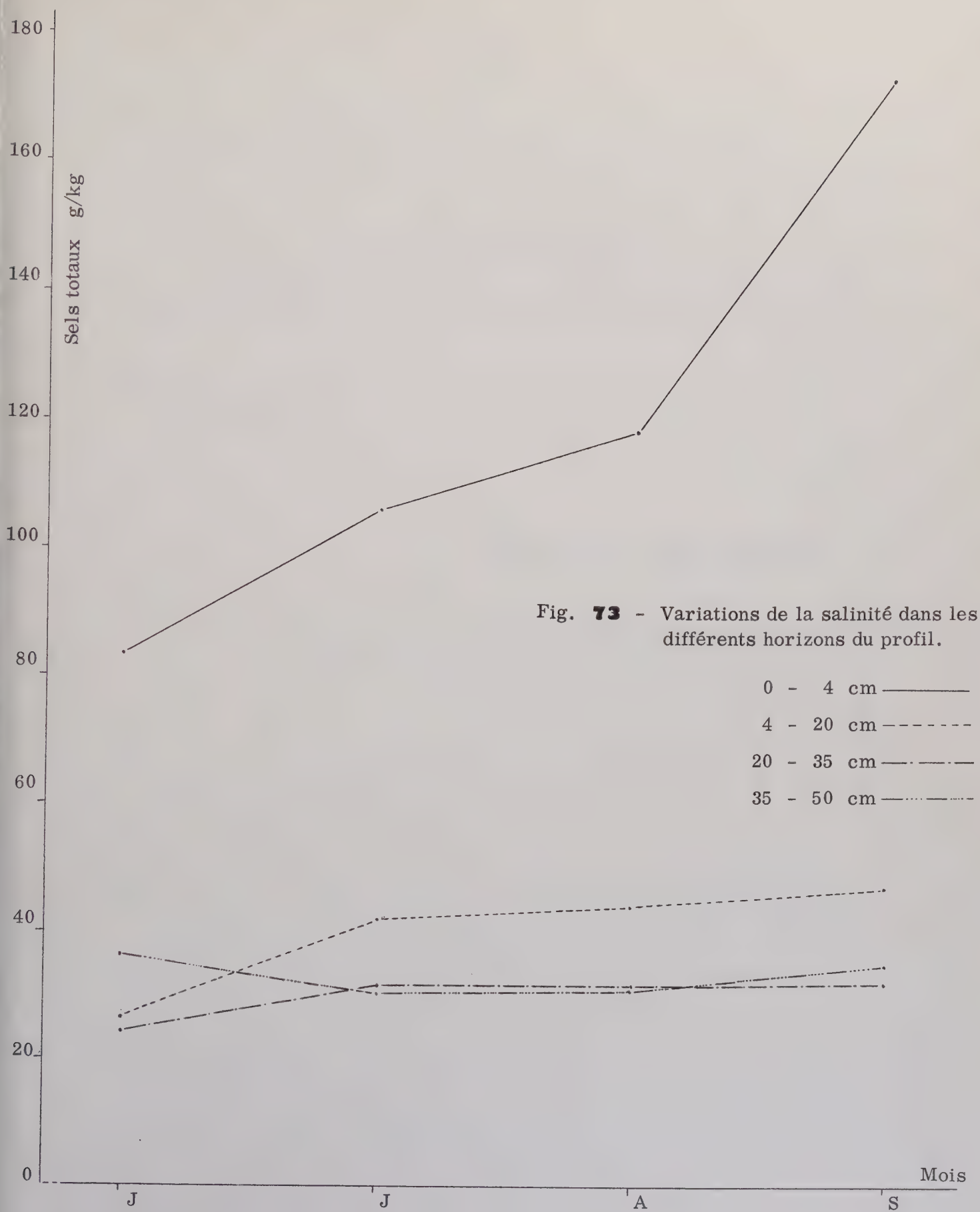
SALINITÉ

● VARIATIONS QUANTITATIVES

Nous avons résumé sur la figure N° **73** les variations de la teneur en sels solubles des différents horizons du profil pendant la période d'étude.

D'après cette figure, la couche superficielle de 0 à 4 cm est la plus riche en sels solubles, sa teneur en sels totaux varie de 83,6 g/kg (en juin) jusqu'à 177,3 g/kg⁽¹⁾ (en septembre). C'est l'horizon le plus salé que nous ayons observé parmi nos quatre stations.

(1) Le phénomène de la cristallisation du sel s'observe en surface depuis le mois de juin. Ne pouvant séparer les deux parties cristallisées et dissoutes des sels solubles, il n'est pas possible d'estimer la concentration de la solution du sol.



L'amplitude des variations saisonnières est très grande en surface, et de plus en plus atténuée en profondeur. A titre d'exemple, la salinité de l'horizon 4 à 20 cm varie entre 27,2 et 43,6 g/kg.

A mesure que l'on descend, la salinité du sol diminue de sorte que la teneur en sels totaux de la couche 4 à 20 cm (zone d'abondance des racines) est, en général, plus élevée que celle des couches inférieures dépourvues de racines.

Ainsi, on peut constater que la stratification des racines dans les couches superficielles n'est pas en rapport avec le minimum de la salinité dans les horizons, ce que nous constatons ici une fois de plus.

● VARIATIONS QUALITATIVES

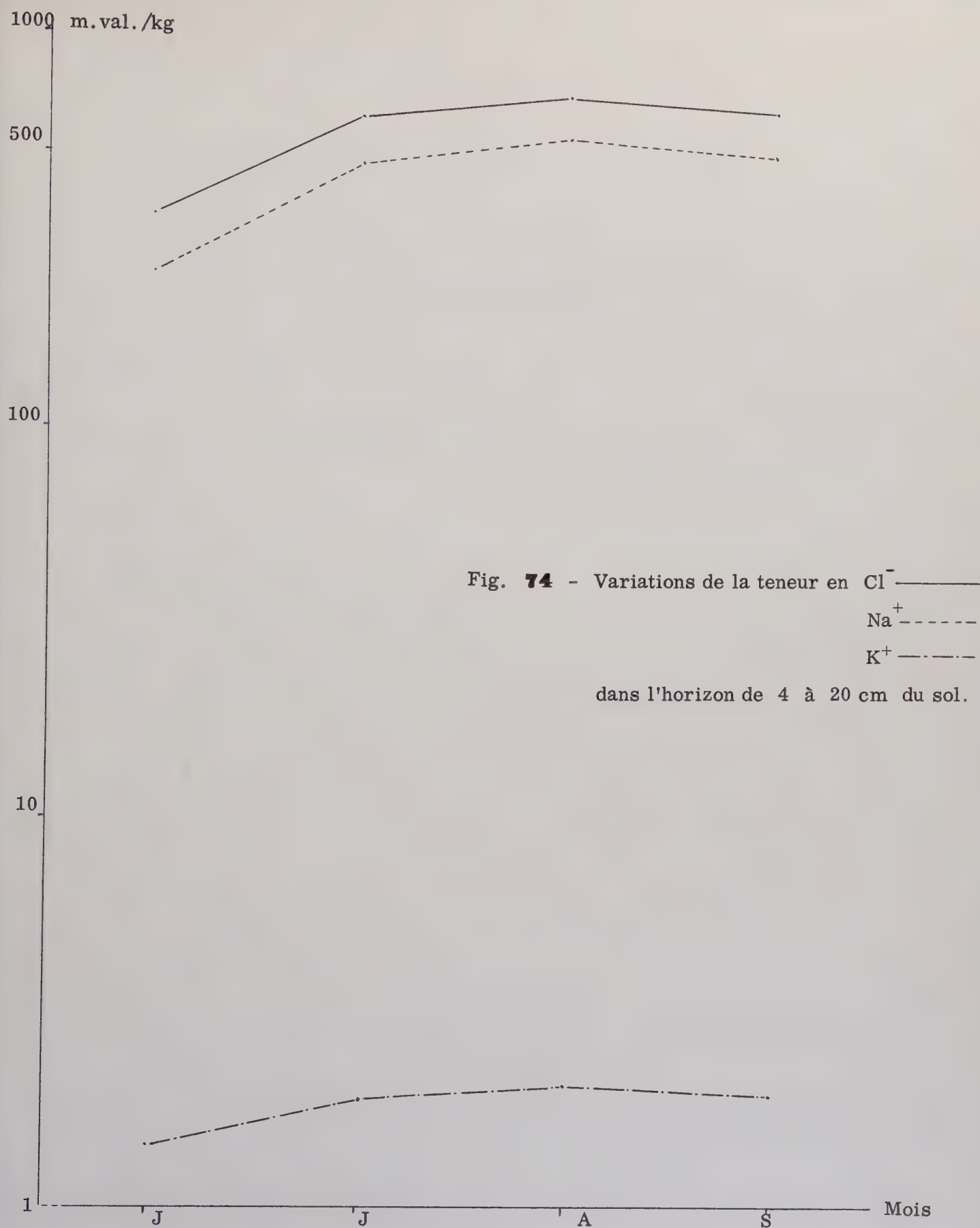
Les variations de la teneur en Cl^- , Na^+ et K^+ des différents horizons du profil ont été suivies pendant la période de juin - septembre. Nous représentons dans ce texte les courbes dressées pour la couche de 4 à 20 cm du profil. (Figure N° 74)

Deux faits doivent être notés :

- 1° les variations de ces éléments sont parallèles entre elles;
- 2° elles sont parallèles avec celles de la salinité totale.

Pour élucider les nuances des variations du Cl^- , du Na^+ et du K^+ (comme dans le cas de la station précédente), nous avons calculé les rapports Cl/Na et Na/K pour les sels solubles des différents horizons étudiés.

Le rapport Cl/Na est sujet à de faibles variations dans la couche superficielle de 0 à 4 cm (figure N° 75). Sa valeur est de 1,33 en juin et de 1,37 en septembre. Cette augmentation est peut-être déterminée par la rencontre des sels solubles en surface, et l'explication serait celle que nous avons donnée dans le cas de la station de la crique de l'Angle (page 117).



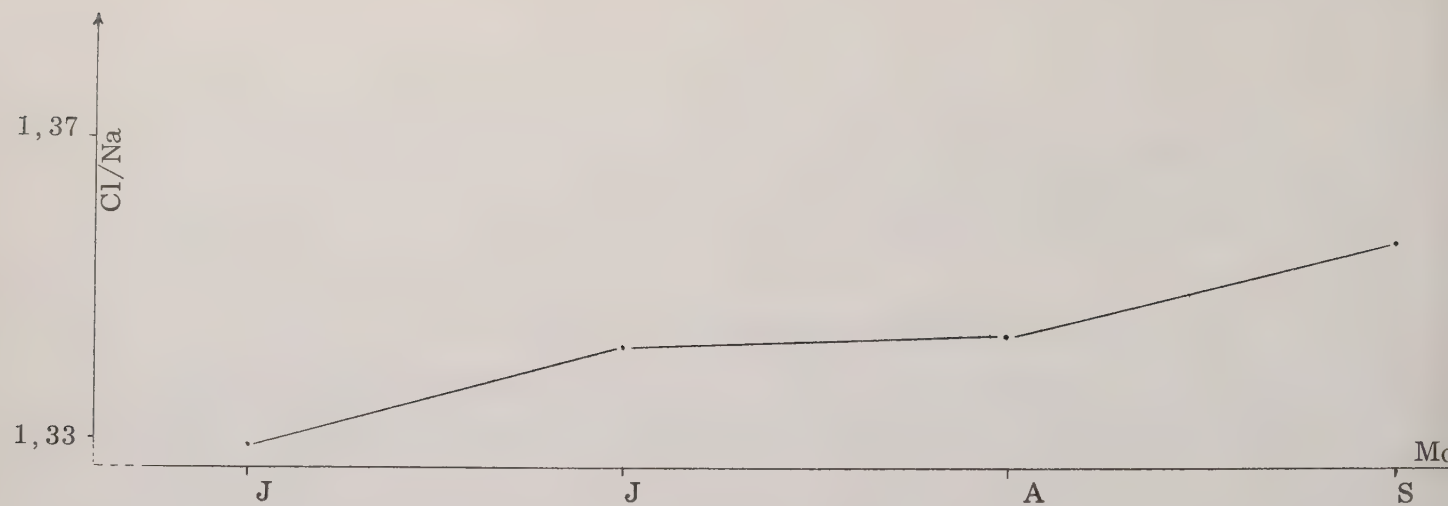


Fig. **75** - Variations du rapport Cl / Na dans la couche de 0 - 4 cm du sol.

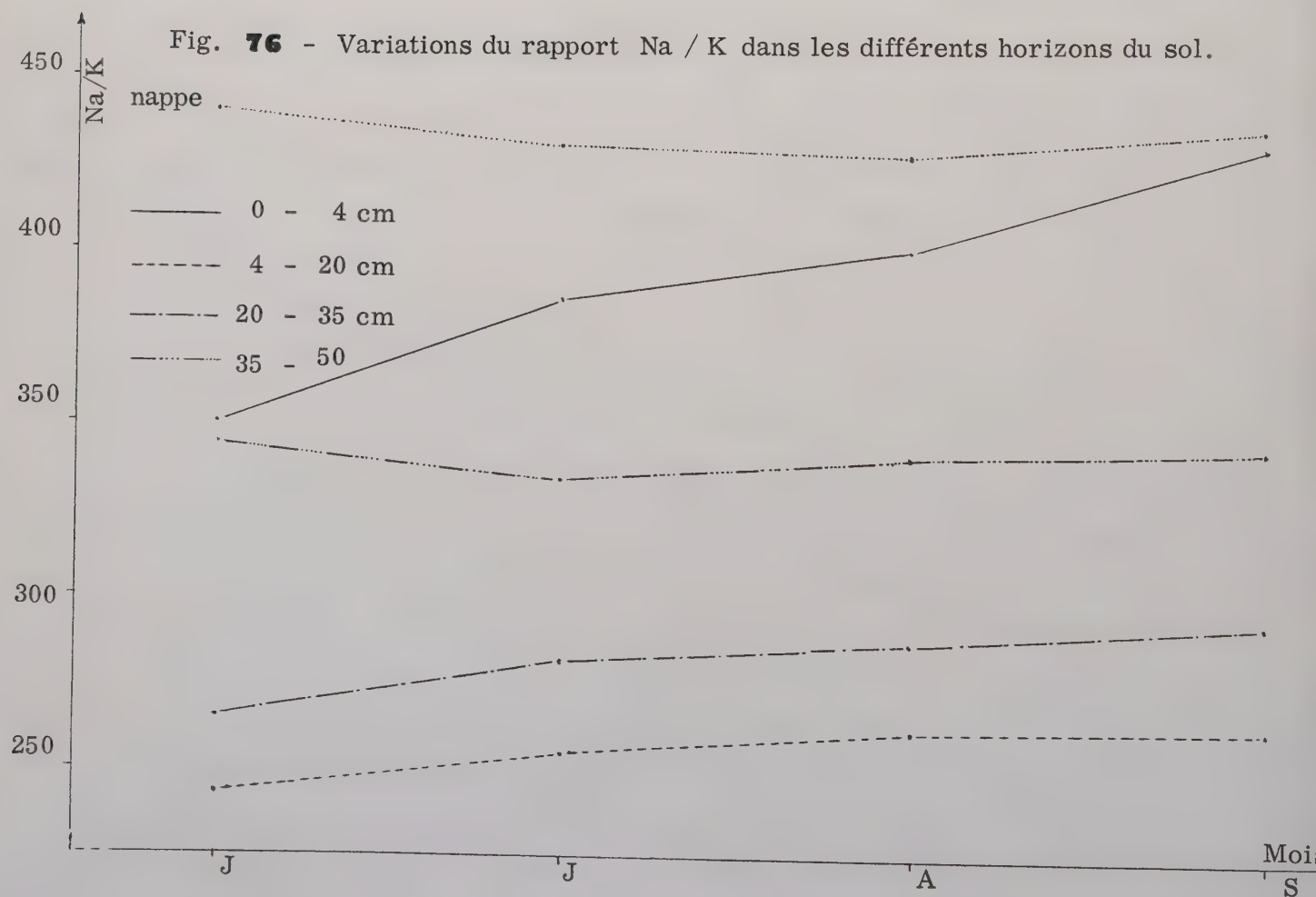


Fig. **76** - Variations du rapport Na / K dans les différents horizons du sol.

La valeur du rapport Cl/Na dans les autres couches du profil est de 1,33 et il ne subit pas de variations sensibles, ni dans l'espace, ni dans le temps.

A l'encontre du rapport quasi stable de Cl/Na , le rapport Na/K subit des variations importantes dans l'espace et dans le temps.

La figure N° **76** représente les variations de ce rapport dans les différents horizons.

L'amplitude de ces variations est relativement grande en surface, elle est de plus en plus atténuée en profondeur.

La comparaison des figures N°^{OS} **73** et **76** suggère qu'il existe certains parallélismes entre les variations de la salinité et celles du rapport Na/K dans tous les horizons. La remontée des sels solubles s'accompagne d'une augmentation du rapport Na/K .

L'explication en serait — comme dans la station précédente — la pauvreté de la nappe en K^+ ($\text{Na}/\text{K} = 458$ dans la nappe, en septembre). Les sels remontant étant pauvres en K^+ augmenteraient donc le rapport Na/K .

La proportion de Na^+ dans les sels solubles reste pratiquement invariable, comme le montre le rapport quasi stable de Cl/Na . Ainsi, on constate que, parallèlement avec les variations quantitatives de la salinité, il existe certaines modifications qualitatives se traduisant par les variations des proportions des ions dans les sels solubles.

Il est également très important de remarquer, d'après la figure N° **76**, que la zone d'abondance de racines est marquée par les valeurs les moins élevées du rapport Na/K pendant toute la saison.

En excluant l'horizon superficiel (0 à 4 cm), il existe un gradient croissant du rapport Na/K vers la profondeur.

Les valeurs du rapport Na/K sont très élevées dans l'horizon de 0 à 4 cm. Nous pensons que cela est dû à la forte accumulation des sels solubles en surface, pendant l'été.

L'étude statistique des variations du rapport Na/K montre qu'à l'échelle de la station :

- les variations saisonnières sont significatives; il existe, en effet, des différences entre les données observées au mois de juin et celles du mois de septembre;
- les différences des valeurs du rapport Na/K dans les différents horizons ne sont pas significatives.

L'ÉTUDE DU CALCIUM ACTIF

Les variations de la teneur en Ca^{++} actif des différents horizons sont illustrées sur la figure N° 77.

On remarquera, d'après cette figure, les faits suivants :

- au cours de saison d'été, il existe une diminution plus ou moins régulière de la teneur en Ca^{++} actif dans tous les horizons du profil;
- indépendamment des variations saisonnières, on observe une augmentation de la teneur en Ca^{++} actif en profondeur, cependant la teneur de l'horizon d'enracinement (4 - 20 cm) est très voisine de celle de l'horizon de 20 à 35 cm (zone dépourvue de racines).

L'analyse statistique de ces variations montre :

- que les variations saisonnières ne sont pas significatives;
- que les différences entre les teneurs en Ca^{++} actif de l'horizon 0 - 4 cm et l'horizon de 35 - 50 cm sont significatives;
- qu'entre l'horizon de 0 à 4 cm et les deux horizons de 4 - 20 et 20 - 35 cm, il n'existe pas de différences significatives.

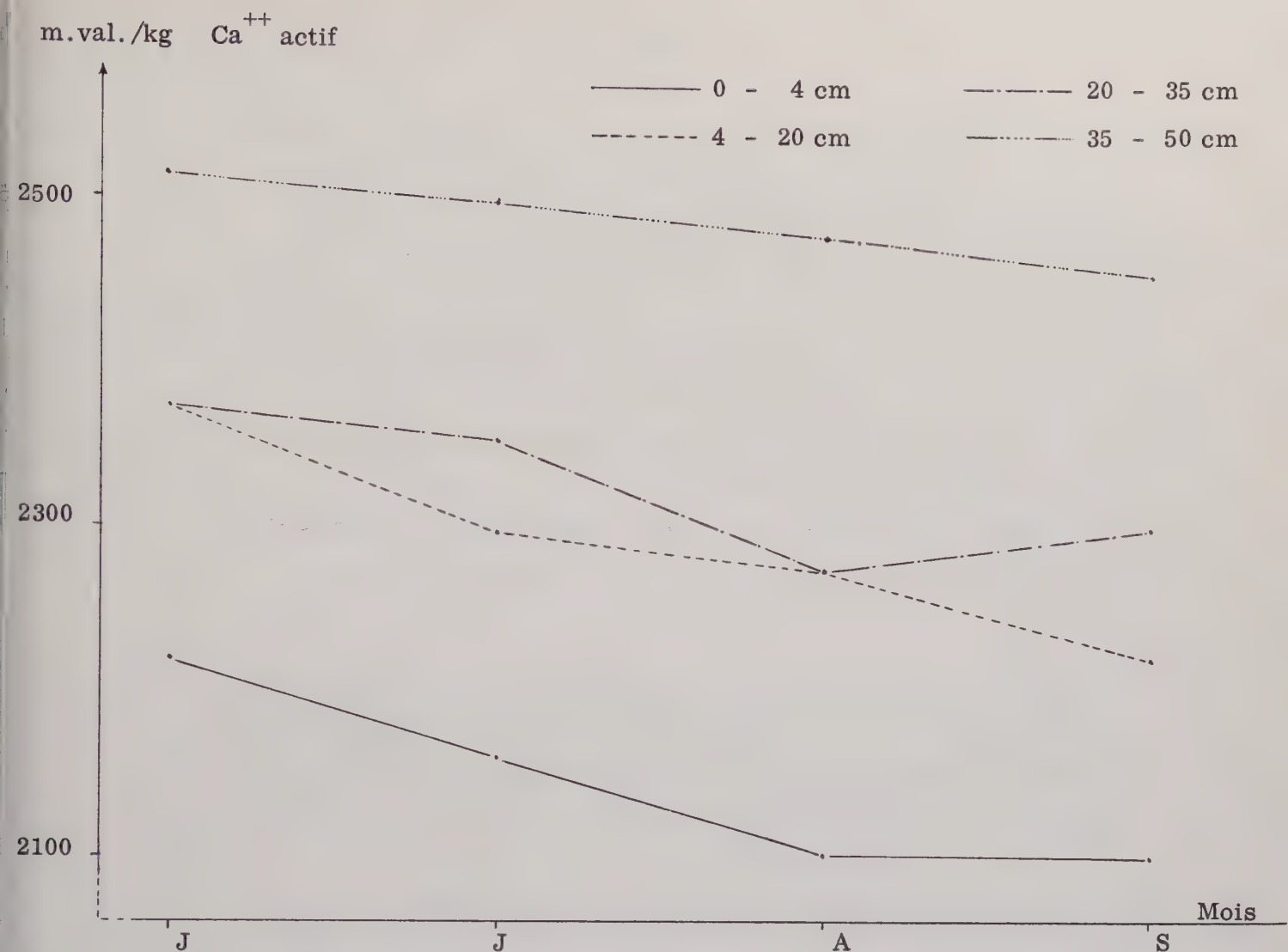


Fig. 77 - Variations de la teneur en calcium actif dans les différents horizons du profil.

Ces observations montrent qu'il y a des variations considérables au sein du Ca^{++} actif, qui se manifestent aussi bien dans le temps que dans l'espace. Mais comme nous avons vu, il n'existe aucune différence significative entre la teneur en Ca^{++} actif de l'horizon d'enracinement et la zone dépourvue de racines.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX
DE L'ÉTUDE DES DEUX STATIONS
DU MARAIS DE LA GRANDE PALUDE

Parmi les facteurs écologiques qui régissent la vie végétale des deux stations étudiées dans le marais de la Grande Palude, il faut mettre en avant :

- la salure de la nappe,
- la submersion.

Les autres facteurs écologiques ne viennent qu'après.

Dans les deux chapitres précédents ont été exposés les caractères écologiques importants du milieu physique et de la végétation, en particulier des Arthrocnemum qui l'habitent. Nous allons maintenant comparer brièvement les végétations et conditions écologiques mises en évidence et essayer d'en déduire des conclusions quant aux relations milieu - végétation.

Pour dégager les différences entre les végétations de ces deux stations, voyons d'abord quels points sont à considérer.

La végétation de la première station est caractérisée, dans son ensemble :

- 1° par le caractère dense et fermé;
- 2° par une nette dominance d' A. fruticosum;

- 3° en ce qui concerne le comportement des racines, problème qui nous a occupé particulièrement, par une localisation relativement peu accentuée par rapport à la station suivante des système radiculaires, avec 15 % des racines réparties au-delà de 20 cm de profondeur.

Celle de la deuxième station se distingue :

- 1° par une physionomie ouverte et très peu dense;
2° par la dominance d' A. glaucum (95 %);
3° en ce qui concerne la répartition des racines des Arthrocnemum, par une localisation stricte du système racinaire dans les couches superficielles; environ 2 % seulement des racines sont répartis entre 20 - 30 cm.

La répartition des racines des Arthrocnemum de ces deux stations a été comparée sur les figures N^{os} **78** et **79**.

La figure N° **78** montre la répartition des racines d' A. glaucum dans les deux stations. Dans la première, les racines ⁽¹⁾ descendent jusqu'à 45 cm.

La figure N° **79** montre la répartition des racines d' A. fruticosum dans les deux stations. On constate que la répartition est très semblable à celle de l'espèce précédente. D'après les deux figures, la différence entre les localisations dans le sol sont nettement visibles. Elle est tellement nette que l'analyse statistique a été jugée inutile pour la zone des racines située au-delà de 25 cm. Par contre, l'analyse statistique de la répartition des racines dans les couches superficielles de 0 - 25 cm des deux stations a paru intéressante. Nous avons établi le test du χ^2 qui nous a donné les résultats suivants :

- pour A. glaucum, la répartition des racines dans les deux stations ne présente pas de différences significatives ($\chi^2_{(4)} = 7,93$ et $P = 0,10-0,5$)

(1) On n'a comparé que les racines du centre de la touffe.

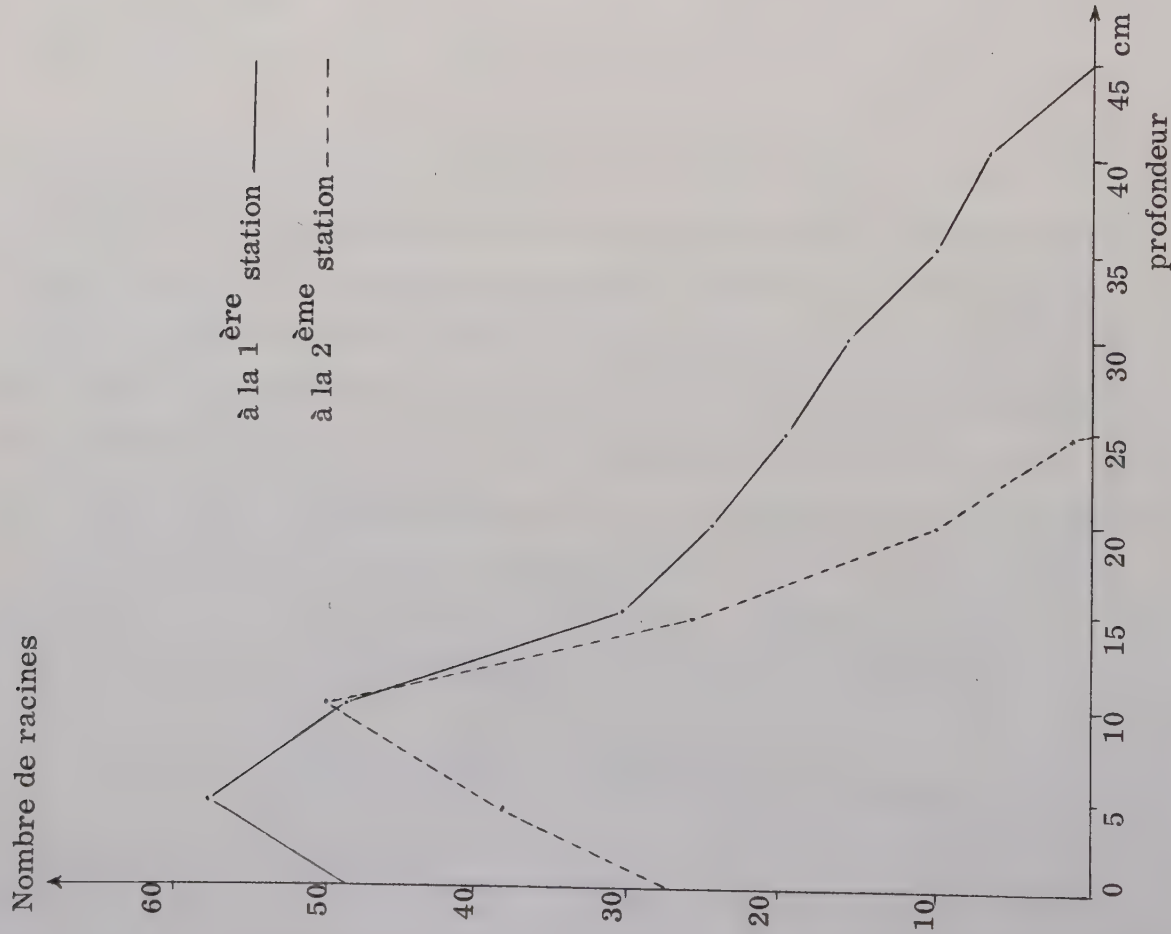


Fig. 78 - Répartition des racines de A. glaucum dans les deux stations du marais de la Grande Palude.

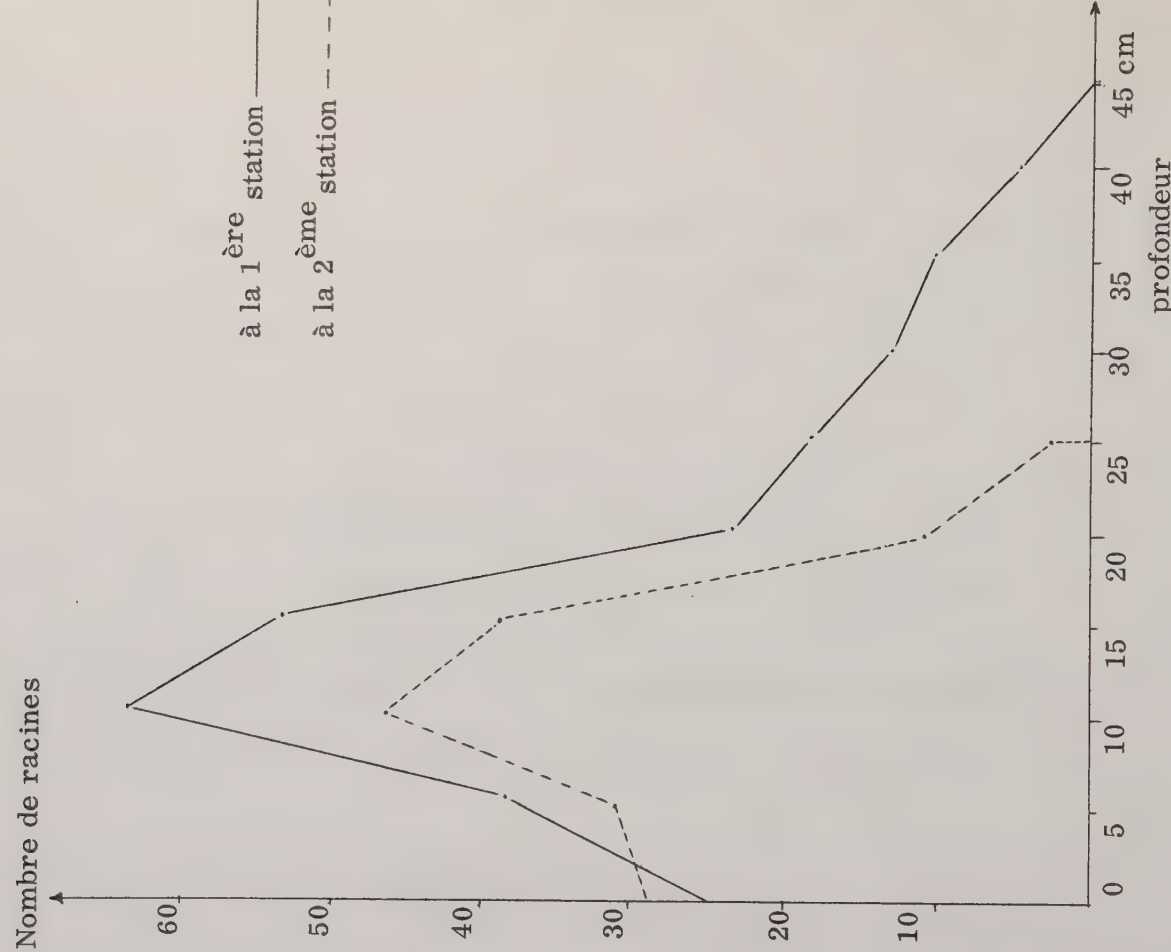


Fig. 79 - Répartition des racines d'A. fruticosum dans les deux stations du marais de la Grande Palude.

— il en est de même pour A. fruticosum : $(\chi^2_{(4)} = 3,14 \text{ et } P = 0,70-0,50)$

La comparaison des caractères écologiques physiques de nos deux stations du marais de la Grande Palude est particulièrement intéressante, du fait qu'elle peut mettre en évidence les déterminants de la répartition verticale des racines et les variations des dominances des deux Arthrocnemum.

Cette comparaison est grandement facilitée du fait qu'un certain nombre de facteurs édaphiques, tels la texture, le pH et le Ca^{++} actif sont communs aux deux stations.

Les différences essentielles entre caractères écologiques des deux stations sont les suivantes :

1. - En ce qui concerne les caractères hydromorphes du profil : les couches inférieures du sol sont plus fortement affectées par l'hydromorphie dans la deuxième station que dans la première.
2. - En ce qui concerne la salinité de la nappe (voir le tableau N° **11**) : les couches inférieures du profil dans la deuxième station sont engorgées par une nappe plus salée (83 g/l du sel dans la nappe de la deuxième station contre 46 g/l dans la première).
3. - En ce qui concerne la salinité du sol : il y a des différences quantitatives et qualitatives qui sont résumées dans les figures N°s **30** et **31**.

La salinité du sol et le rapport Na/K de la deuxième station sont supérieurs à ceux de la première.

4. - En ce qui concerne la porosité du sol (Figure N° **32**) : la porosité de tous les horizons, surtout dans les couches inférieures, est moins élevée dans la deuxième station que dans la première.
5. - En ce qui concerne la hauteur de l'eau de submersion : elle n'est pas la même dans les deux stations. La hauteur et la durée de la submersion sont plus grandes dans la première station que dans la deuxième.

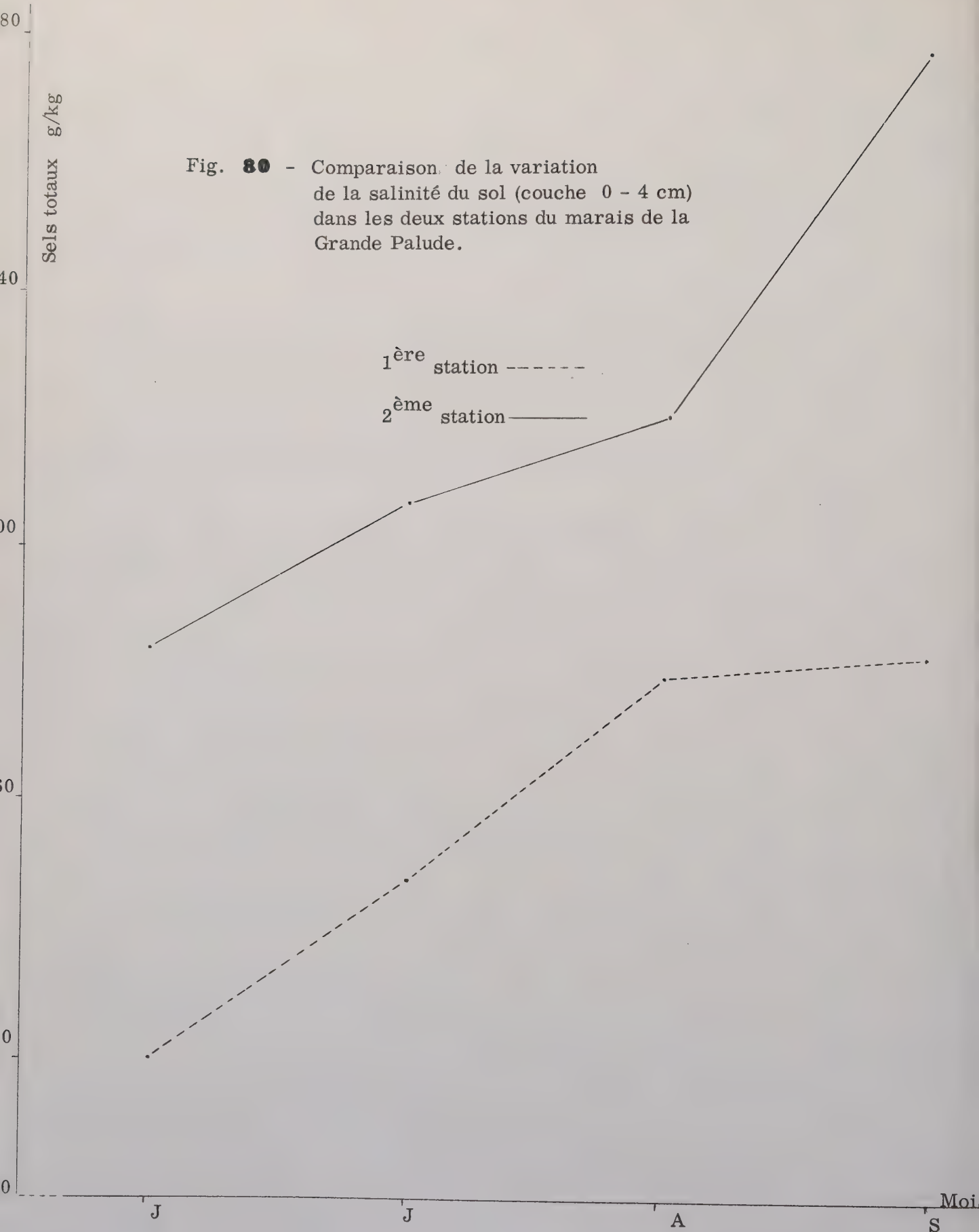


Fig. 80 - Comparaison de la variation de la salinité du sol (couche 0 - 4 cm) dans les deux stations du marais de la Grande Palude.

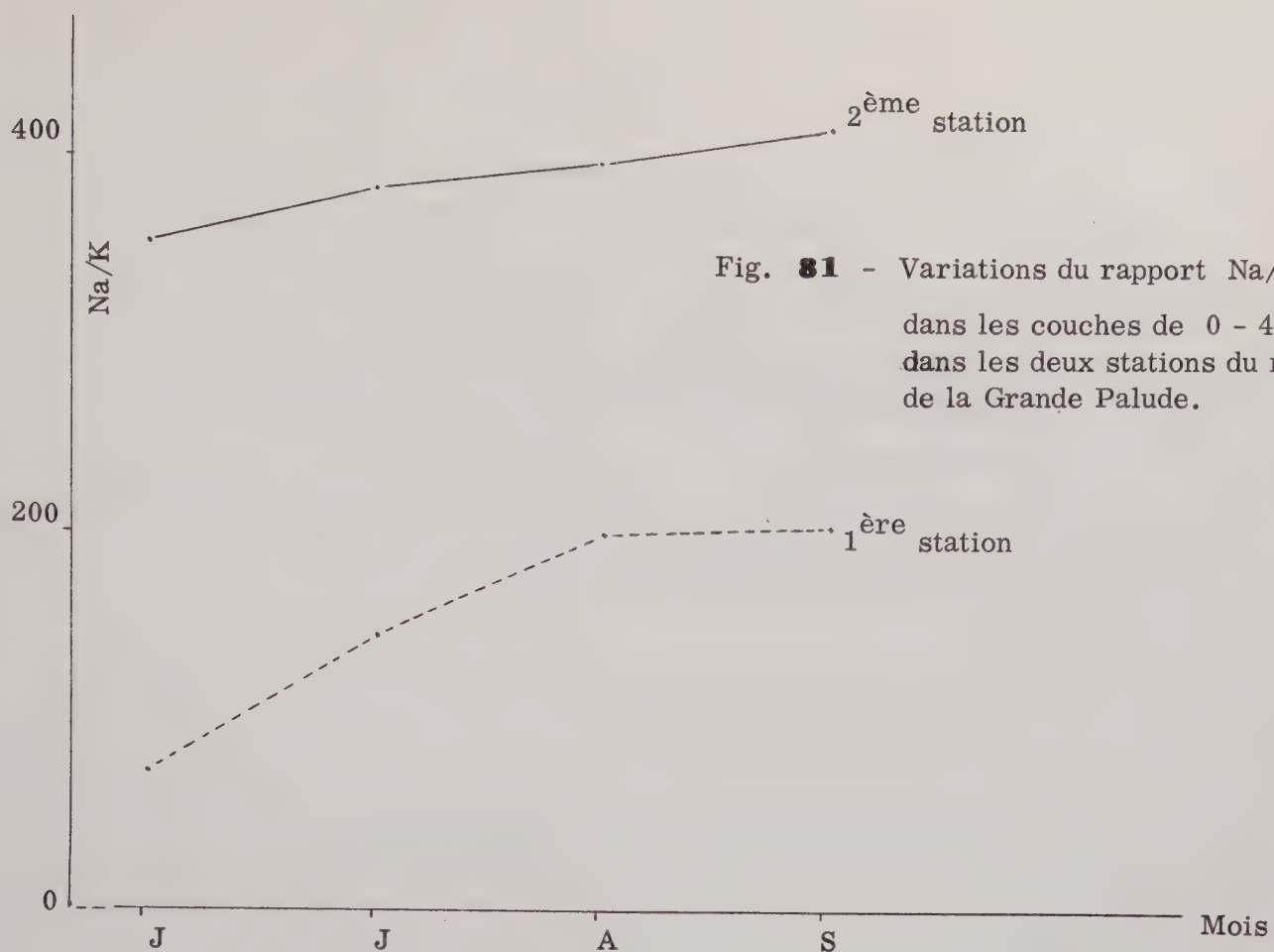


Fig. 81 - Variations du rapport Na/K
dans les couches de 0 - 4 cm
dans les deux stations du marais
de la Grande Palude.

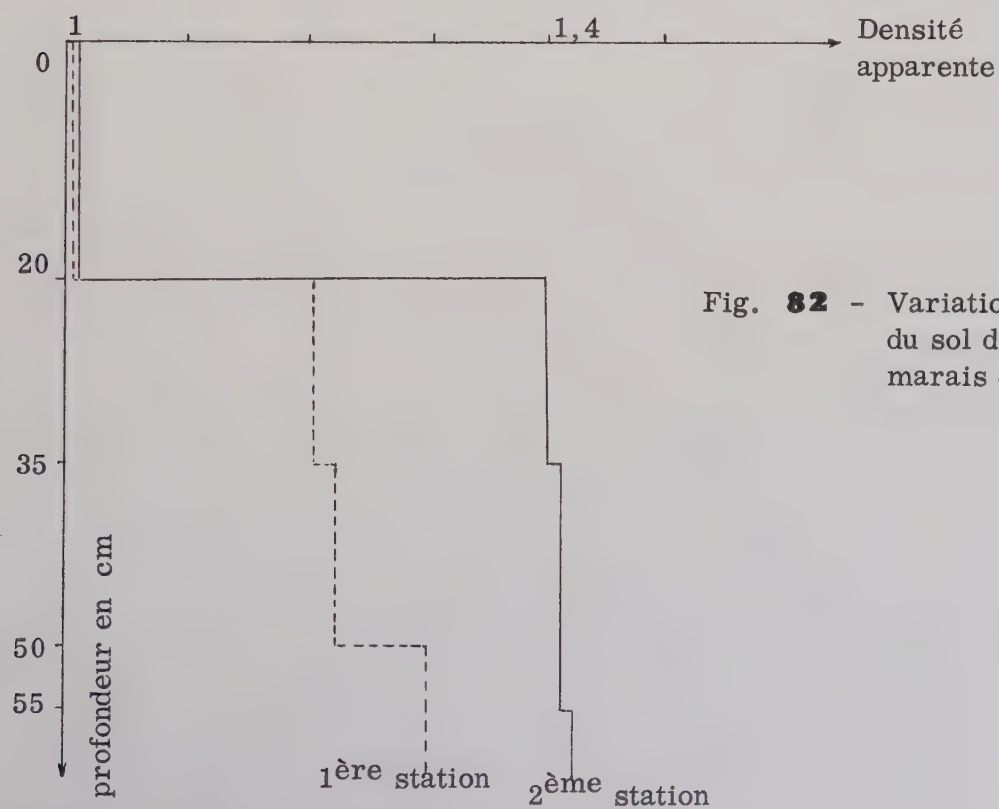


Fig. 82 - Variations de la densité apparente
du sol dans les deux stations du
marais de la Grande Palude.

Nous verrons ultérieurement les conséquences de ces différences sur la répartition des racines des deux espèces d' Arthrocnemum étudiées.

Pour l'instant, signalons seulement que dans la deuxième station :

- A. glaucum est plus résistant à la salinité qu' A. fruticosum et qu'il semble aussi résister mieux que son congénère à l'insuffisance de l'aération du sol;
 - par contre, A. glaucum semble être moins résistant à la submersion haute et prolongée qu' A. fruticosum.
-

TROISIÈME PARTIE

DISCUSSION DES RÉSULTATS

INTERPRÉTATION

CHAPITRE I

ÉTUDE DES RAPPORTS

ENTRE LA SALINITÉ DE LA NAPPE ET DU SOL

Dans le cadre de notre travail, nous avons observé quelques caractères qualitatifs de la salinité du sol et de la nappe, dans des stations variées.

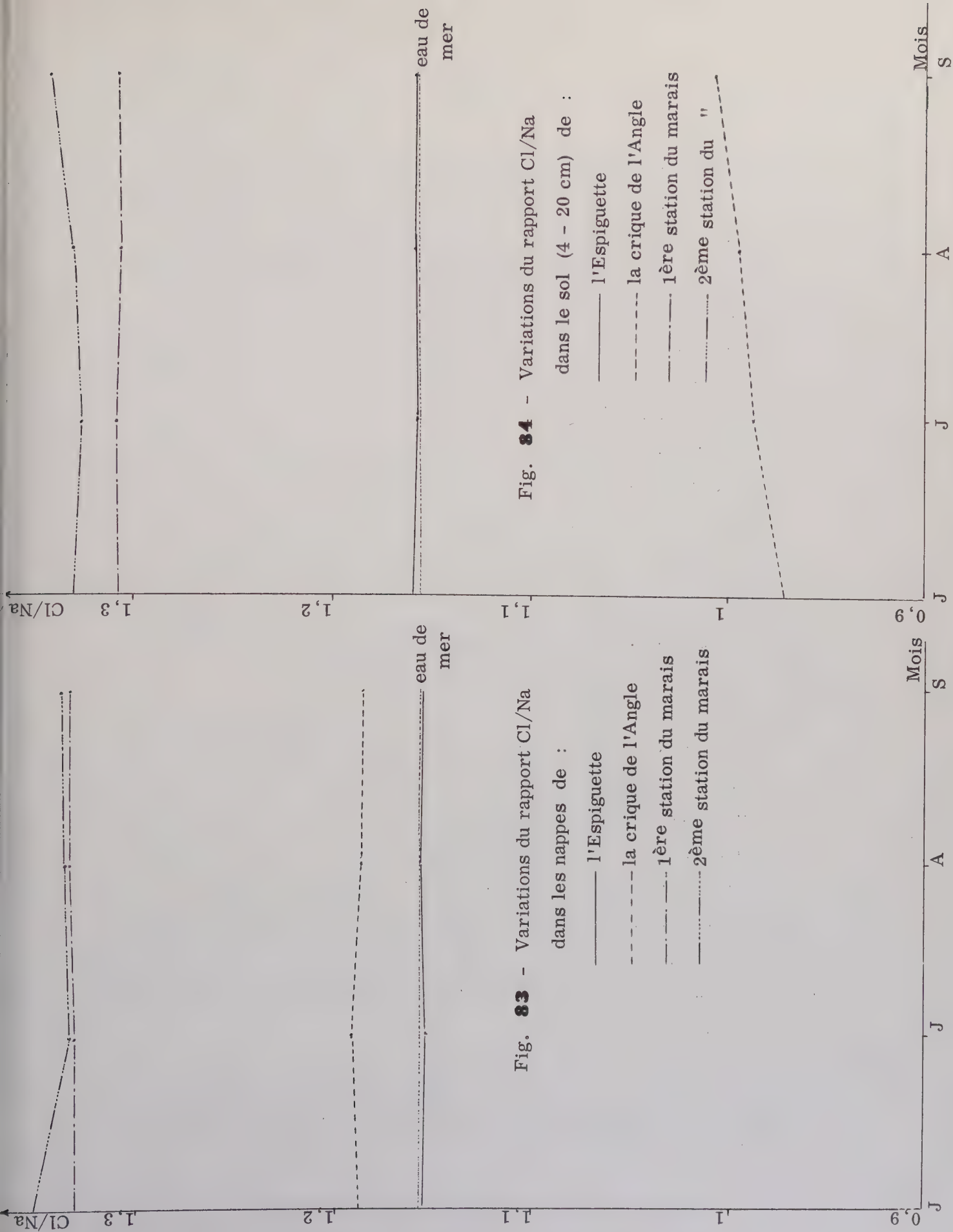
Nous avons pensé qu'il serait intéressant de comparer la teneur en différents ions du sol et de la nappe de ces stations.

Dans ce but, nous avons rassemblé sur la figure N° **83** les valeurs obtenues pour le rapport Cl/Na dans les nappes de nos quatre stations, pendant la période de juin - septembre. Dans la figure N° **84** nous avons porté les valeurs de ce même rapport dans les sols des quatre stations⁽¹⁾.

L'échelle des figures est la même. Leur examen permet de constater les faits suivants :

- 1° D'une station à l'autre, le rapport Cl/Na varie dans la nappe et dans le sol.

(1) Pour les données du sol, nous avons emprunté les résultats obtenus pour la couche de 4 à 20 cm = zone d'enracinement.



2° Dans trois stations (Espiguette et les deux stations du marais de la Grande Palude), il existe une affinité plus ou moins étroite entre les valeurs du rapport Cl / Na dans le sol et dans la nappe.

A l'Espiguette, où le sol est très sableux, ce rapport a des valeurs pratiquement égales à celles de l'eau de mer.

Dans les deux stations du marais de la Grande Palude, les valeurs de ce rapport sont supérieures à celles de l'eau de mer, aussi bien dans la nappe que dans le sol.

3° L'affinité est peu marquée entre les valeurs du rapport Cl / Na dans le sol et dans la nappe à la station de la crique de l'Angle. Dans la nappe, la valeur de ce rapport est légèrement supérieure à celle de l'eau de mer; mais, par contre, elle est nettement inférieure dans le sol.

Sur les figures N^{os} **85** et **86** nous avons représenté les valeurs du rapport Na / K dans les nappes et les sols étudiés⁽¹⁾.

Sur ces figures, on notera :

1° que les valeurs de ce rapport varient profondément d'une station à l'autre, aussi bien dans la nappe que dans le sol;

2° qu'il existe certaines affinités entre les valeurs du rapport Na / K dans la nappe et dans le sol de chaque station, mais cette affinité semble être moins marquée que pour les rapports Cl / Na .

Lors de l'étude détaillée de nos stations, nous avons remarqué que les valeurs du rapport Na / K dans les couches inférieures du profil sont beaucoup plus proches de celles de la nappe que les valeurs observées dans les couches supérieures du sol.

(1) Seules les observations de la période de juin-septembre 1966 ont été représentées; pour les sols, on a pris les données de l'horizon situé entre 4 et 20 cm.

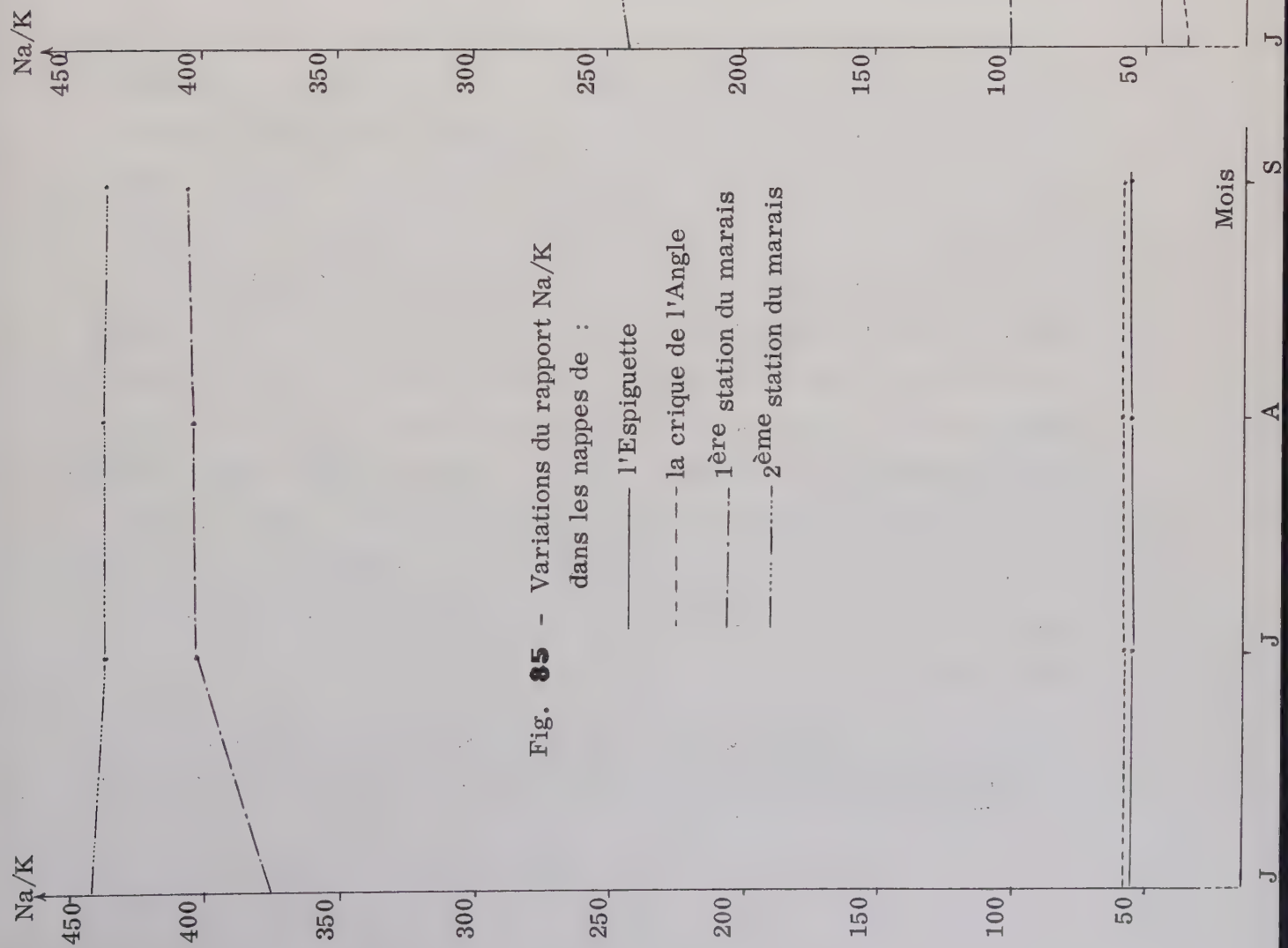


Fig. 35 - Variations du rapport Na/K
dans les nappes de :
_____ l'Espigette
- - - - - la crique de l'Angle
_____ 1ère station du marais
----- 2ème station du marais

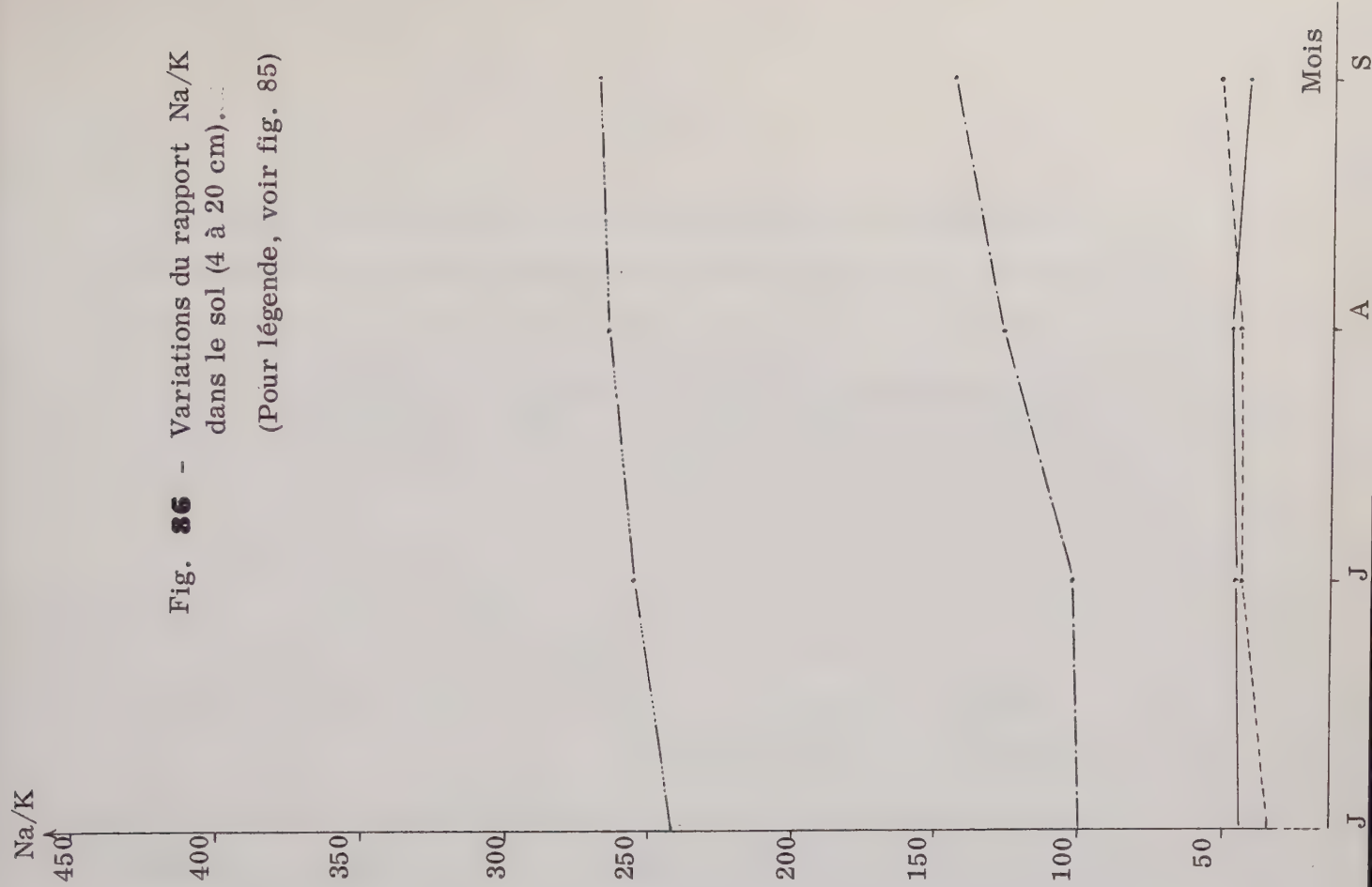


Fig. 36 - Variations du rapport Na/K dans le sol (4 à 20 cm). (Pour légende, voir fig. 85)

Evidemment, si nous avons comparé les rapports Na/K de la nappe avec ceux des couches inférieures, la ressemblance observée serait beaucoup plus remarquable.

Ces observations nous permettent de dégager les deux faits suivants :

- 1° A chaque station, les compositions des sels solubles dans le sol et dans la nappe ont de nombreuses similitudes.
- 2° A l'Espiguette, station à sol sableux, les rapports entre les ions dans le sol et dans la nappe sont très voisins de ceux de l'eau de mer. Par contre, au marais de la Grande Palude, sol à hydromorphie très accentuée, les rapports de Cl/Na et Na/K sont nettement plus élevés que ceux de l'eau de mer.

Les cations semblent être fortement adsorbés par le sol, ce qui est indiqué par des rapports élevés mais c'est surtout le K^+ qui est retiré du milieu.

A titre d'exemple de ce qui vient d'être dit, nous indiquerons que la proportion du K^+ dans les sels solubles, dans la nappe de la deuxième station du marais de la Grande Palude, est dix fois moins élevée qu'à l'Espiguette.

Il faut noter que dans cette étude nous avons comparé la composition ionique de l'extrait aqueux du sol avec celle de la nappe. Or, l'extrait aqueux peut avoir une composition ionique plus ou moins différente de celle des sels solubles du sol, nous pensons que, en d'autres termes, les similitudes entre les sels solubles du sol et ceux de la nappe peuvent être encore plus accentuées que celles que nous avons pu démontrer pour notre étude⁽¹⁾. Ainsi les sels dissous dans la solution du sol à l'état naturel pourraient avoir une composition plus proche de celle de la nappe que l'extrait aqueux obtenu au cours de la manipulation.

(1) Lors de l'extraction des sels du sol, la dilution réalisée modifie la composition des sels dissous en prélevant en plus quelques ions fixés faiblement au complexe adsorbant.

Par ailleurs, nous avons mis en évidence qu'il existe des rapports quantitatifs entre la salinité du sol et ceux de la nappe (voir la comparaison des deux stations du marais de la Grande Palude).

L'existence d'un équilibre entre les sels dissous de la nappe et ceux du sol est un fait connu en hydrogéologie (SCHOELLER, 1960). Notre travail, dans ce domaine, apporte quelques précisions supplémentaires.

CHAPITRE II

L'INFLUENCE DE LA COMPOSITION GRANULOMÉTRIQUE DU SOL SUR L'EXTENSION DES RACINES ET LE RAPPORT ENTRE LA PARTIE AÉRIENNE ET LA PARTIE SOUTERRAINE DE LA PLANTE

LA RÉPARTITION VERTICALE DES RACINES ET LA TEXTURE

L'étude comparative de l'extension verticale des racines et de la texture du sol dans nos stations, permet de constater que la composition granulométrique du sol n'intervient pas dans la stratification des racines. Cette constatation est basée sur les trois preuves suivantes :

1. - Les profils du sol, dans chacune des quatre stations étudiées, sont sensiblement homogènes du point de vue de la texture. La composition granulométrique des horizons d'enracinement et des couches dépourvues de racines est, en effet, la même.

2. - Mais, chacune de ces quatre stations est caractérisée par une texture particulière, sauf la première station du marais de la Grande Palude qui est, à cet égard, identique à la seconde station de cette localité. Or, la stratification des racines reste comparable dans trois des stations.

3. - Dans les deux stations du marais de la Grande Palude, malgré une texture identique du sol, la répartition des racines en profondeur est différente.

Ces observations nous permettent donc de conclure que la texture du sol n'est pas une des causes déterminantes de la stratification des racines.

L'EXTENSION LATÉRALE DES RACINES ET LA TEXTURE

La texture du sol influence par contre nettement la répartition horizontale et le développement latéral des racines.

Nous avons représenté dans le tableau N° **16** les surfaces d'extension des racines et les dimensions des touffes d' A. fruticosum dans les trois stations suivantes :

Tableau N° **16**

Stations	Touffe hauteur × diamètre	Surface de l'extension des racines
Crique de l'Angle	40 50 cm	4 m ²
Grande Palude (1ère station)	80 100 cm	8 m ²
Espiguette	37 45 cm	12 m ²

Ce tableau montre qu'à l'Espiguette (sol sableux), le volume de la partie aérienne est légèrement inférieur à celui des individus de la crique de l'Angle (sol limono-argileux), tandis que la surface de la répartition des racines est trois fois plus élevée à l'Espiguette qu'à la crique de l'Angle.

Une telle comparaison, bien que peu précise, rend compte de l'influence de la texture ⁽¹⁾ du sol sur la répartition horizontale des racines.

Ceci semble indiquer que le rapport entre la partie aérienne et la partie souterraine varie lui aussi en fonction de la texture du sol.

Afin d'aborder ce problème avec plus de précision, nous avons considéré non plus le volume de la touffe, mais la masse ou poids de la partie aérienne et la répartition quantitative des racines (densité) au lieu de leur surface d'extension.

Le processus fut le suivant :

Dans chacune des deux stations de l'Espiguette (sol sableux) et de la crique de l'Angle ⁽²⁾ (sol limono-argileux), nous avons choisi quatre touffes d'A. fruticosum. (Pour la méthode du choix, voir page 55)

La répartition quantitative des racines a été étudiée comme suit :

— Dans la direction nord - sud, nous avons tracé une ligne qui passe par le centre de la touffe, tous les 20 cm. Sur cette ligne, nous avons prélevé un échantillon (cylindre) du sol (35 cm de hauteur). Le poids des racines

-
- (1) Les différences entre ces stations sont nombreuses, nous les avons précédemment étudiées en détail. Mais, comme nous avons déjà signalé (p. 38) la différence entre les compositions granulométriques de ces biotopes est la plus importante, la plupart des autres différences sont plus ou moins directement liées aux variations de la texture. Du fait que, d'une station à l'autre, la texture est variable, il est possible de penser que cette dernière joue le rôle le plus efficace dans des variations de la répartition des racines.
- (2) Les stations du marais de la Grande Palude sont exclues de cette comparaison à cause de la densité de leur végétation.

contenues dans chacun des échantillons a été noté, puis nous avons calculé les moyennes du poids des racines dans les échantillons homologues des deux directions nord et sud. Utilisant ces données, nous avons tracé les courbes de la dispersion quantitative des racines en fonction de la distance du centre de la touffe. La figure N° **87** illustre la répartition quantitative des racines d'*A. fruticosum* dans les deux stations (moyenne de quatre touffes par station).

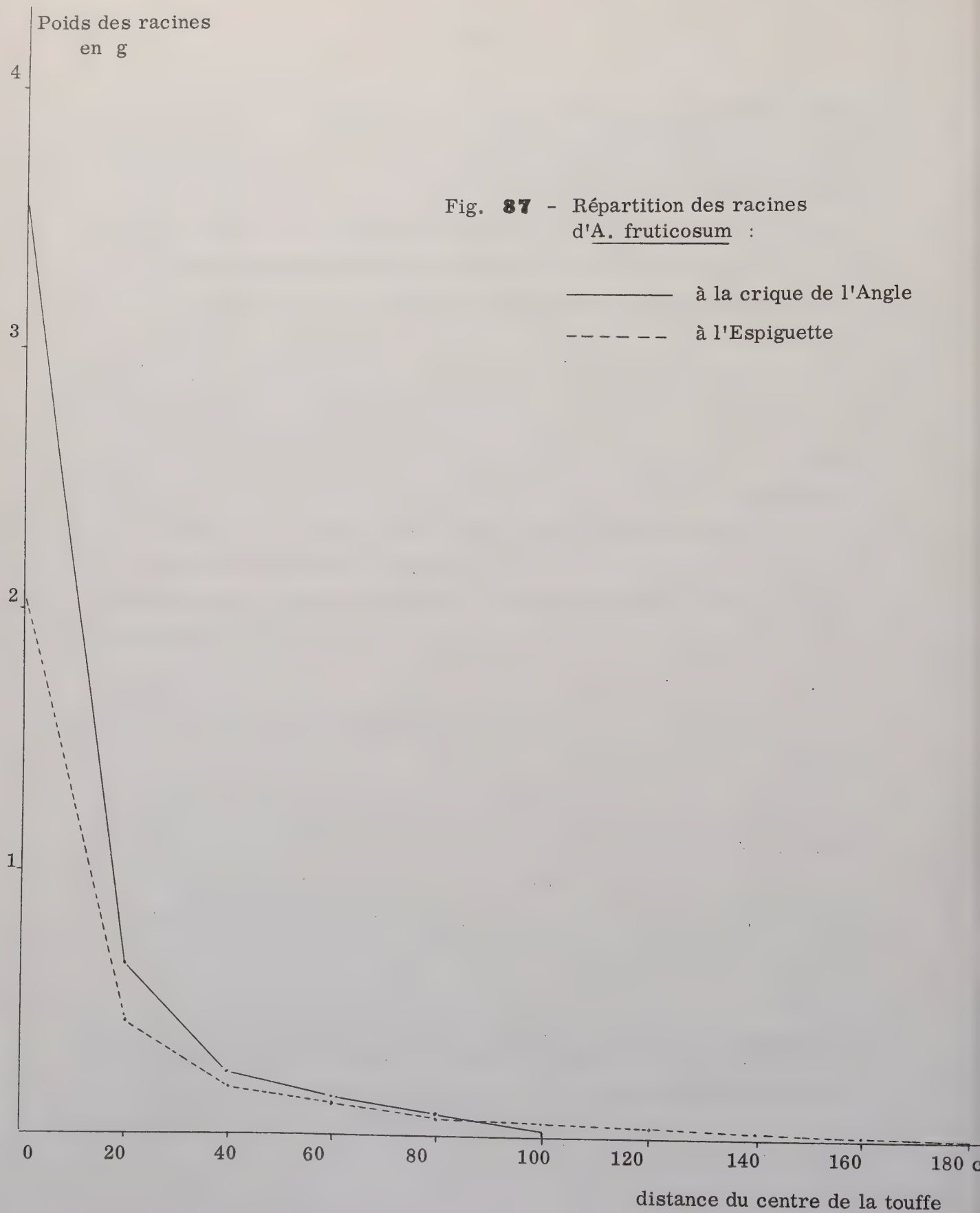
Cette figure confirme que la surface d'extension des racines est beaucoup plus grande à l'Espiguette (sol sableux) qu'à la crique de l'Angle (sol fin). Cette différence est tellement nette que l'application de la statistique a été jugée inutile.

— On notera également que la densité des racines est, en général, — surtout au centre de la touffe — plus élevée à la crique de l'Angle qu'à l'Espiguette. On peut ainsi conclure que dans les sols fins, le système racinaire occupe une surface plus petite, mais avec une densité des racines plus élevée que dans les sols à texture grossière.

Les variations du rapport entre la partie aérienne et la partie souterraine ont été étudiées de la manière suivante :

1. — En ce qui concerne les racines, nous avons calculé, pour chaque touffe étudiée, la surface comprise entre la courbe de dispersion des racines et l'axe horizontal de coordonnées (en mm^2). Cette surface est une représentation de la quantité de racines, elle tient compte aussi bien de la densité que de la superficie de l'extension.⁽¹⁾

(1) Une telle manière de procéder n'est sans doute pas à l'abri de la critique, mais elle présente un intérêt certain, car elle fournit facilement des données comparables.



2. - Quant à la partie aérienne, nous avons mesuré directement son poids, après séchage préalable à l'étuve, à 105° C ⁽¹⁾.

L'ensemble des données concernant des touffes étudiées dans les deux stations est représenté dans le tableau N° 17. Le rapport $\frac{\text{partie souterraine}}{\text{partie aérienne}}$ a été calculé pour les deux stations (calcul fait sur les moyennes de chaque station). On constate que les valeurs de ce rapport varient du simple au quadruple, suivant la texture du sol; elle est de 9,7 à l'Espiguette contre 2,4 à la crique de l'Angle. Cela signifie que pour une même quantité de racines, le poids de la partie aérienne est quatre fois plus élevé dans un sol fin que dans un sol à texture grossière.

Tableau N° 17

Comparaison entre les poids des parties aériennes et des parties souterraines d'*A. fruticosum* dans les deux stations de l'Espiguette et de la crique de l'Angle

	Espiguette		Crique de l'Angle	
	Partie aérienne g	Racine mm ²	Partie aérienne g	Racine mm ²
	155	1630	1214	3310
	186	1784	1093	2466
	173	1592	1342	3112
	222	2176	1486	3468
Total	736	7182	5135	12356
Moyenne	184	1795,5	1283,7	3089
Racine	9,7		2,4	
Partie aérienne				

(1) D'après les conventions internationales, le poids des racines est celui obtenu après séchage à 75°C et le poids de la partie aérienne est fourni après séchage à 105°C. Toutefois, dans cette partie du travail, la nécessité de la comparaison nous a conduit à déterminer aussi le poids des racines après séchage à 105°C.

- Nous avons comparé également les poids des racines d'*A. fruticosum* séchées à 75°C et 105°C. La différence observée est de l'ordre de 1,3 %.

- La même comparaison pour la partie aérienne donne une différence de l'ordre de 1,7 %.

ANALYSE STATISTIQUE ET INTERPRÉTATION

L'examen des données concernant le poids de la partie aérienne et de la répartition quantitative des racines d'A. fruticosum des deux stations (Tableau N° **17**) montre que l'influence de la texture du sol est aussi visible sur la partie aérienne que sur la masse des racines.

Pour mieux connaître les liaisons entre les variations des masses aérienne et souterraine, ainsi que la modalité de l'influence de la texture sur ces variations, nous avons procédé à une analyse statistique des données observées. Celle-ci a montré que la corrélation entre les variations de la partie aérienne et la partie souterraine est de l'ordre de 70 %.

L'analyse statistique est destinée surtout à rechercher si les variations des parties aériennes sont déterminées par les variations des racines.

Dans ce but, deux analyses de covariances ont été entreprises :

- Dans la première, les différences des poids des parties aériennes, dans les deux stations, ont été examinées après en avoir soustrait la variabilité qui peut être attribuée aux influences exercées par les variations des racines, ce qui consiste à une comparaison des masses aériennes lorsque on ramène les masses racinaires dans les deux stations à la même unité.

Les résultats de l'analyse ont été donnés dans les tableaux N^{os} **18** et **19** de l'annexe. On constate avec $t = 5,2$ et $P = 0,001$ que les différences entre les parties aériennes dans les deux stations, après la déduction de l'influence des variations des racines, sont significatives.

- Dans la deuxième analyse, une comparaison identique entre les masses racinaires des deux stations a été effectuée, en déduisant préalablement les

variations qui peuvent avoir pour origine celles de la partie aérienne.

Les résultats de cette analyse sont donnés dans le tableau N° **19** de l'annexe ($t = 0,94$ $P = 0,40$ à $0,30$). On constate qu'après déduction de l'influence des variations de la partie aérienne, les différences entre les masses racinaires des deux stations ne sont pas significatives.

Ces analyses permettent de conclure que la sensibilité de la partie aérienne vis-à-vis des variations de la texture du sol est beaucoup plus grande que celle de la partie souterraine. Cette constatation explique les variations du rapport entre les masses aériennes et souterraines d'A. fruticosum, que nous avons déjà observées entre les deux stations de l'Espiguette et de la crique de l'Angle.

Les variations de la texture du sol entraînent également d'autres modifications dans le comportement des racines. Nous avons, en effet, remarqué que la proportion des racines adventives est beaucoup moins élevée dans les sols sableux que dans les sols lourds (10 % environ contre 50 %).

Nous n'avons pas pu effectuer des comparaisons homologues entre les racines d'A. glaucum dans des stations variées (en raison de l'absence de cette espèce à la crique de l'Angle). Cependant nos observations sur les individus des stations du marais de la Grande Palude nous ont convaincu que les variations du comportement des racines d'A. glaucum, suivant la nature du sol, sont tout à fait comparables à celles des racines d'A. fruticosum.

CHAPITRE III

LE CALCIUM ACTIF

ET LA RÉPARTITION DES RACINES

L'ensemble des données observées dans nos quatre stations (pour la période de juin - septembre) a fait l'objet d'une analyse de variance.

A l'échelle d'une seule station, les variations du Ca^{++} actif sont fonction de l'horizon considéré du sol, donc de la profondeur, et de la saison, donc du temps.

Mais, si l'on groupe les données de plusieurs stations, une nouvelle source de variations : "le facteur stationnel" s'ajoute aux deux sources précitées.

Notre analyse de variance examine la part de chacune de ces trois sources de variations.

Les résultats de cette analyse figurent dans le tableau N° 20 (annexe).
Ce tableau permet de tirer les conclusions suivantes :

1° Les stations présentent des différences significatives entre elles
($F = 5782$; $P \ll 0,001$).

2° Il existe des différences significatives entre les horizons du sol
($F = 15,2$; $P < 0,001$).

Lors de l'étude détaillée de nos stations, nous avons remarqué que, suivant la station, il existe des différences significatives, soit entre l'horizon superficiel et le reste du profil, soit entre la couche la plus profonde et les autres qui la surmontent.

3° Les variations saisonnières du Ca^{++} actif se révèlent significatives
($F = 15,71$; $P < 0,001$).

Ce dernier résultat est dû aux variations saisonnières que nous avons observées dans la première station du marais de la Grande Palude.

Une comparaison des moyennes globales pour les différents mois laisse néanmoins supposer qu'il y a une légère baisse dans la teneur en Ca^{++} actif en cours de saison. Il est probable qu'une analyse basée sur une expérience de plus grande ampleur permette de prouver que dans d'autres stations aussi les variations saisonnières étaient significatives.

Parmi les trois interactions entre les trois sources de variations, il en existe deux qui sont significatives et une qui ne l'est pas.

a) L'interaction horizon $\times$ station est significative ($F = 56,13$; $P < 0,001$).

Cela signifie que les variations du Ca^{++} actif, en fonction des horizons, ne sont pas les mêmes dans les différentes stations. (Figure N° 88)
A l'Espiguette, la couche superficielle est plus riche en Ca^{++} actif que les autres horizons. Tandis que, dans les autres stations, la surface est relativement moins riche en Ca^{++} actif que les horizons en profondeur.

b) L'interaction station $\times$ mois est significative ($F = 4,48$; $P = 0,01 - 0,001$).

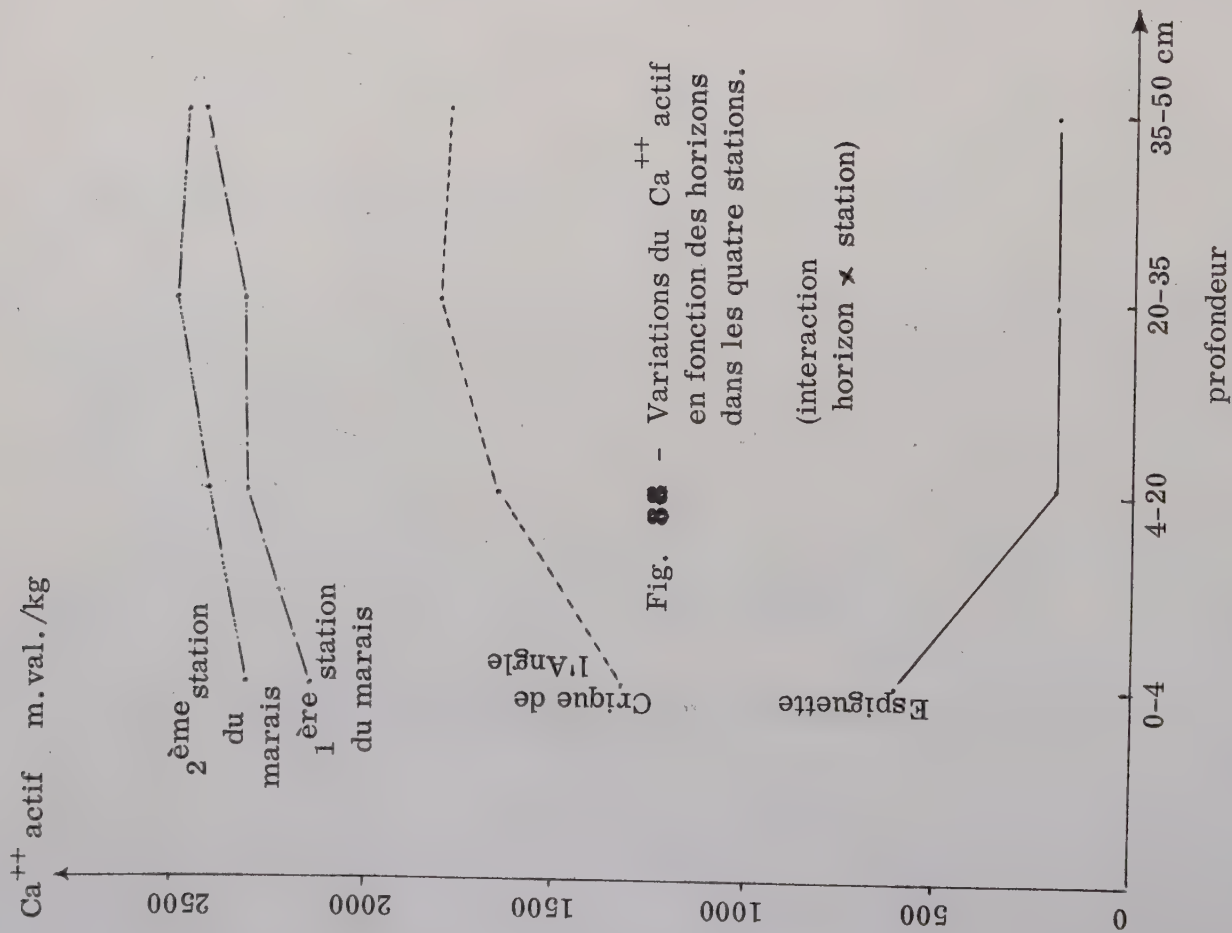


Fig. 88 - Variations du Ca⁺⁺ actif en fonction des horizons dans les quatre stations.

(interaction horizon x station)

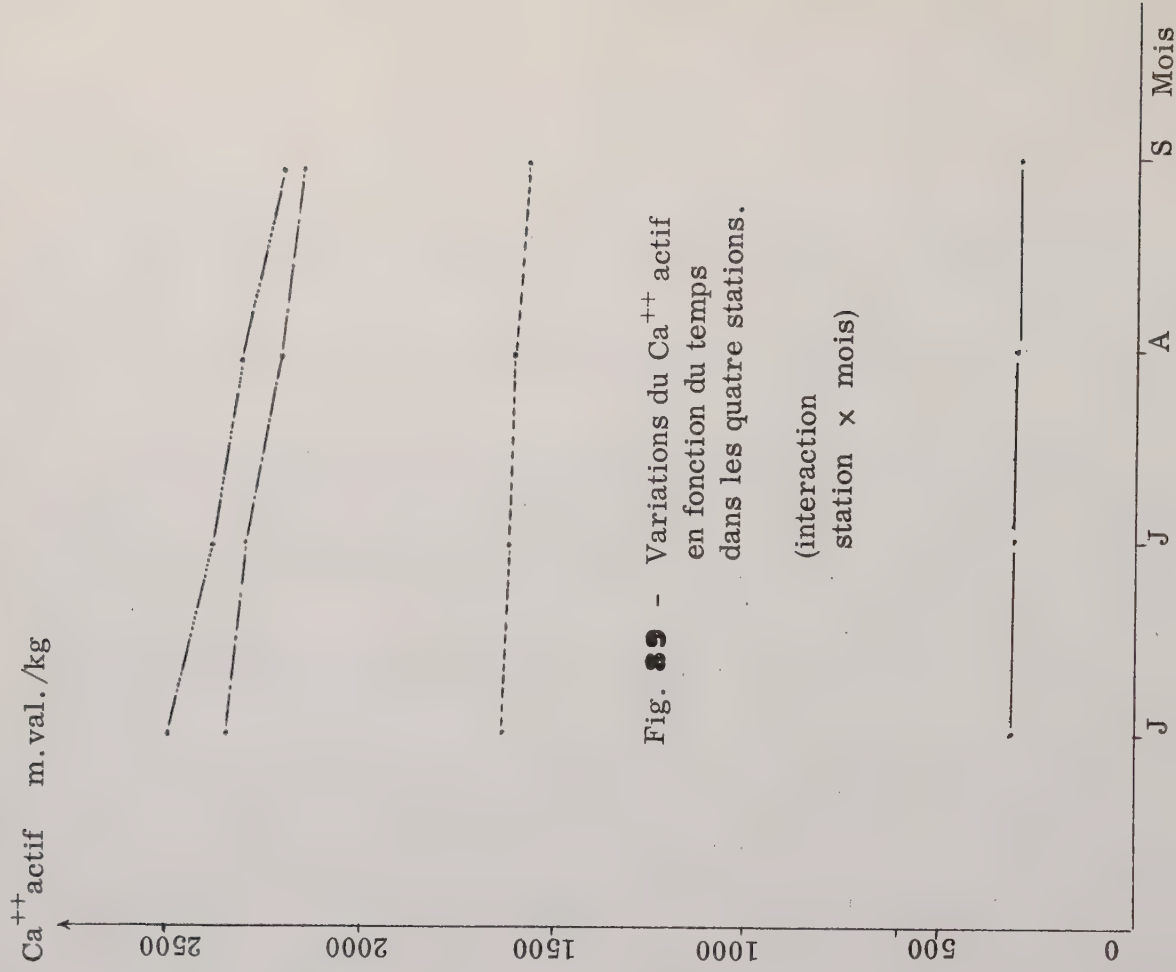


Fig. 89 - Variations du Ca⁺⁺ actif en fonction du temps dans les quatre stations.

(interaction station x mois)

Cela indique que les variations saisonnières sont différentes suivant les stations. (Figure N° 89)

- c) L'interaction horizon $\times$ mois se révèle non significative ($F = 1,20$; $P > 0,20$).

L'ensemble de cette étude montre que les variations du Ca^{++} actif sont très importantes d'une station à l'autre. On peut donc admettre que la nature du sol joue un rôle important dans ces variations.

Dans trois stations sur quatre, la crique de l'Angle et les deux stations du marais de la Grande Palude, on a noté une diminution plus ou moins régulière de la teneur en Ca^{++} actif dans tous les horizons. Cette diminution progressive du Ca^{++} actif est peut-être due à l'augmentation de la salinité du sol au cours de l'année.

Il est remarquable que ces variations ne s'observent que dans les stations à sol fin. On pourrait ainsi penser à l'influence de l'accumulation des sels solubles sur le complexe adsorbant. Quant au rapport entre le Ca^{++} actif et la répartition des racines, nous pouvons conclure que la localisation en surface des systèmes racinaires ne s'explique pas par les variations de ce facteur, car :

- les variations du Ca^{++} actif, le long du profil, diffèrent selon les stations (l'interaction station $\times$ horizon est significative), tandis que la stratification des racines en surface reste comparable entre nos stations (tout au moins entre les trois citées parmi les quatre);
- il n'existe surtout pas de différences significatives dans la teneur en Ca^{++} actif des horizons d'enracinement et les couches dépourvues de racines.

CHAPITRE IV

RÉPARTITION DES SELS SOLUBLES DANS LE PROFIL ET STRATIFICATION DES RACINES

Les mesures effectuées sur la teneur en sels des différents horizons du sol nous ont permis de conclure, qu'en général la zone d'enracinement n'est pas l'horizon le moins salé du profil. Au contraire, elle est souvent légèrement plus riche en sel que les couches inférieures dépourvues de racines. Seul, à la station de l'Espiguette, l'horizon d'enracinement se montre un peu moins salé que les autres.

Ainsi, nous pouvons admettre que l'absence des racines dans les couches inférieures du profil n'est pas déterminée par l'accumulation du sel.

La salinité de la couche superficielle du sol (0 à 4 cm) est beaucoup plus élevée que celles des autres horizons pendant une longue période de l'année. Nous y avons remarqué une rareté considérable de racines et de radicelles.

Il est probable que la forte accumulation du sel dans cet horizon soit la

cause de ce phénomène. Nous ne pouvons cependant confirmer cette hypothèse du fait que cette couche est le siège d'une forte évaporation et surtout de profondes variations de la température diurne, phénomènes qui sont susceptibles d'influencer la répartition des racines.

La conclusion importante de cette étude est de montrer que la salinité des couches inférieures du sol dépourvues de racines n'est pas supérieure à celle de l'horizon d'enracinement, elle est même souvent légèrement inférieure.

CHAPITRE V

LE RÔLE ET L'INFLUENCE DE LA NAPPE PHRÉATIQUE

L'étude des variations du niveau et de la salure des nappes dans nos stations a montré que les couches inférieures du profil, qui sont dépourvues de racines, sont précisément celles qui sont engorgées une grande période de l'année, par les eaux salées de la nappe.

Du point de vue pédologique, ces horizons sont caractérisés par un abaissement de la porosité et l'apparition de traces d'hydromorphie.

L'étude comparative des deux stations du marais de la Grande Palude nous fournit un exemple concret de l'influence de la nappe.

En effet, nous avons vu que la nappe phréatique de la première station est moins salée que celle de la seconde. On observe que la diminution de la porosité, les propriétés hydromorphiques (dus à la nappe), la salinité du sol, et enfin la stratification des racines, sont moins accentuées dans la première que dans la deuxième station.

Ainsi, on constate que l'influence de la nappe se manifeste de façons diverses sur les caractères du sol : la formation d'un horizon à gley, l'apparition des traces d'hydromorphie et l'abaissement de porosité sont les différents aspects de son action.

Nous avons, par ailleurs, constaté qu'il existe des rapports plus ou moins étroits entre les caractères quantitatifs et qualitatifs de la salinité du sol et celle de la nappe.

L'étude de la répartition des racines a montré que l'on peut établir un certain parallélisme entre la localisation des systèmes racinaires, d'une part, et les variations de la porosité, les caractères hydromorphes, les modifications qualitatives de la salinité, d'autre part.

Les auteurs qui se sont penchés sur ce problème ont d'ailleurs fait remarquer que la présence de la nappe, les caractères hydromorphiques qu'elle confère au sol, l'augmentation de la teneur en CO_2 qui en résulte, inhibent la pénétration des racines (CHAKHOV - 1946 ; MATSKEVICH - 1957 ; Mlle LARGUECHE - 1960 ; HAMZA - 1961 in NOVIKOFF).

Nous avons, à plusieurs reprises, remarqué que dans le cas de nos stations, une partie de la zone d'abondance des racines était périodiquement atteinte par la partie diluée de la nappe provenant de l'eau de submersion. A l'Espiguette, nous avons observé que même la couche noirâtre de fermentation, qui accompagne les oscillations de la nappe, affecte durant une courte période, la partie inférieure de l'horizon d'enracinement.

Ces effets de la nappe ne sont pas mortels pour les racines des Arthrocnemum.

Les racines, par contre, ne peuvent coloniser les couches inférieures qui sont engorgées de façon prolongée (hydromorphie et diminution de la porosité voir page précédente).

CONCLUSION

Il apparaît que la présence d'une nappe phréatique salée dans les horizons inférieurs du profil exerce une action sur l'enracinement des *Arthrocnemum*.

Deux facteurs jouent un rôle inhibiteur prépondérant :

- l'intensité de la salure de cette nappe;
 - la durée de sa présence.
-

CHAPITRE VI

LA POROSITÉ

Nous avons mis en relation la répartition des racines avec les variations de la porosité totale qui ont été évaluées dans toutes les stations par des mesures de densité apparente.

On sait que la porosité est un facteur déterminant dans la répartition des racines. Essayons de mettre en rapport les recherches déjà effectuées à ce propos, et les résultats que nous avons obtenus, afin d'aller plus loin dans leur interprétation.

En 1935, STEPHENSON indique l'importance de l'aération du sol dans le développement des systèmes racinaires et admet l'éventualité de l'existence d'une obstruction mécanique qui peut limiter la pénétration des racines dans les sols compacts.

En 1956, SCHUURMAN et GOEDEWAAGEN montrent que les racines de blé ne peuvent pas pénétrer le sable dont la porosité totale est inférieure à 40 %.

Mais, en 1956, HANKS et THORP pensent que les variations de la porosité peuvent intervenir aussi en modifiant la capacité de rétention d'eau

et le taux de diffusion d'oxygène dans le sol. Ainsi, il leur paraît difficile de préciser le mode d'action des variations de la porosité.

BERTRAND et KOHNKE (1957) étudient l'influence de la densité, de l'humidité et de l'aération du sol sur l'enracinement des plantules de maïs. Ils constatent que les racines de cette plante ne pénètrent pas le substrat compact dont la densité apparente est de 1,5 g / ml.

Cette valeur de la densité apparente correspond à une porosité de 40 % environ; ainsi, les résultats obtenus par ces auteurs sont conformes à ceux de SCHUURMAN et GOEDEWAAGEN (loc. cit.).

La remontée de la densité apparente s'accompagnant de modifications dans la diffusion de l'oxygène et de l'humidité, les auteurs n'ont pas pu préciser, si l'arrêt des racines au niveau de la couche compacte était causé par l'obstruction mécanique ou par l'action indirecte due au manque de l'oxygène et d'humidité.

En 1959, PHILLIPS constate que l'obstruction mécanique due à une densité élevée, délimite la pénétration des racines du blé.

D'après FLOCKER et NIELSEN (1960), la capacité de rétention du sol, l'obstruction mécanique, ou la combinaison des deux, influencent le développement et la répartition des racines de tomate.

Les expériences de HIDDING et VAN DEN BERG (1960) dans des profils naturels et reconstitués artificiellement, ont démontré que l'absence des racines dans les couches sableuses compactes trouve souvent sa cause dans l'obstruction mécanique opposée par ces couches à la pénétration des racines.

En ce qui nous concerne, l'étude de la porosité du sol dans nos stations a montré que les couches dépourvues de racines sont caractérisées par des valeurs de la porosité totale de l'ordre de 40 %.

Stations	Porosité totale	Densité apparente
Espiguette.....	41 %	1,5
Marais de la Grande Palude	42 %	1,5
Crique de l'Angle	39 %	1,6

Ainsi, nos résultats sont conformes aux conclusions des auteurs que nous venons de citer. Cependant, il semble que dans nos observations, la diminution de la porosité peut ne pas être l'unique cause de la localisation des systèmes radiculaires.

En effet, des variations de facteurs autres que la porosité différencient les horizons enracinés des couches inférieures sans racines.

Quant au mode d'action de la diminution de la porosité, notre étude bibliographique nous a permis de constater qu'il n'était souvent pas facile de préciser la modalité de l'intervention de la porosité. Son influence sur le comportement des racines se présente de deux façons différentes :

- 1° une action directe,
- 2° une action indirecte.

L'action directe est une obstruction mécanique qui s'oppose à la pénétration des racines.

Les conséquences indirectes sont constituées par une modification de l'aération du sol, de la libre circulation des gaz et de l'eau et aussi de la capacité de rétention de l'eau.

L'influence de ce paramètre physique pouvant être si diverse, il ne nous a pas été possible de préciser la modalité de son action dans la stratification des racines des Arthrocnemum.

Cependant, nous pouvons ajouter, à titre de précision, que dans le cas de nos stations, son action ne se traduirait pas par les variations de la capacité de rétention de l'eau, car nous avons vu que le facteur humidité ne présente pas de variations brusques et significatives au long du profil.

Nous pensons que dans la plupart des cas étudiés, la compacité du sol et surtout l'insuffisance de l'aération, par conséquent le manque d'oxygène, sont des facteurs déterminants de la localisation des systèmes radiculaires. Des preuves absolues nous manquent, nous préférons rester prudent dans notre conclusion.

CHAPITRE VII

LES VARIATIONS DU RAPPORT Na / K

Une analyse statistique portant sur l'ensemble des données concernant le rapport Na / K dans les quatre stations, a été effectuée. Cette analyse porte sur la période juin - septembre 1966.

Comme dans le cas de l'analyse statistique des données sur le calcium actif, les sources des variations sont la station, les horizons du sol, les mois.

Les résultats sont représentés dans le tableau N° 21 (annexe). D'après ce tableau, on peut constater les faits suivants :

1. - Il existe des différences significatives entre les stations ($F = 740$; $P \ll 0,001$). Les valeurs les plus élevées ont été observées dans la deuxième station du marais de la Grande Palude (avec $Na / K = 306$, moyenne totale).

Dans l'ordre décroissant du rapport Na / K, les quatre stations se rangent de la façon suivante : deuxième station du marais de la Grande Palude $\succ$ première station du marais de la Grande Palude $\succ$ Espiguette $\succ$ crique de l'Angle, avec les moyennes totales respectives de $306 \succ 153 \succ 44 \succ 41$.

2. - Les différences entre les horizons sont significatives ($F = 29$; $P < 0,001$).

Lors de l'analyse statistique, à l'échelle de la station, on a remarqué que dans l'une d'elles (marais de la Grande Palude, première station), il y avait des différences significatives entre les horizons, tandis que dans les trois autres, ces différences ne le sont pas. (Figure N° 90)

Sur la figure N° 90 nous avons illustré les variations du rapport Na/K en fonction des horizons dans les quatre stations. On constate, d'une part, que dans toutes les stations la valeur du rapport est la moins élevée dans l'horizon d'enracinement (4 - 20 cm) et que, d'autre part, le mode de variation est toujours le même; il est vraisemblable que dans les trois stations où les variations du rapport Na/K sont jugées non significatives, une étude basée sur des données plus nombreuses les rendraient significatives.

3. - Les variations saisonnières se sont révélées significatives ($F = 9,6$; $P < 0,001$) (Figure N° 91)

Nous avons constaté, en effet, que dans les deux stations du marais de la Grande Palude, les variations saisonnières sont significatives. Il est probable que les deux autres stations auraient présenté des différences saisonnières significatives si l'on avait pu étendre l'analyse statistique à une année complète.

Les variations, pendant la période juin - septembre, étaient atténuées. Elles seraient plus fortes si nous avions pu considérer une année entière.

Nous pouvons donc conclure que les variations du rapport entre les horizons et en cours de saison peuvent être considérées comme significatives.

Parmi les trois interactions des trois sources de variations, une seule se révèle significative : l'interaction horizon x station. Cela veut dire que les variations du rapport Na/K en fonction des horizons sont significativement différentes d'une station à l'autre.

Fig. 90 - Variations du rapport Na/K en fonction des horizons dans les quatre stations.

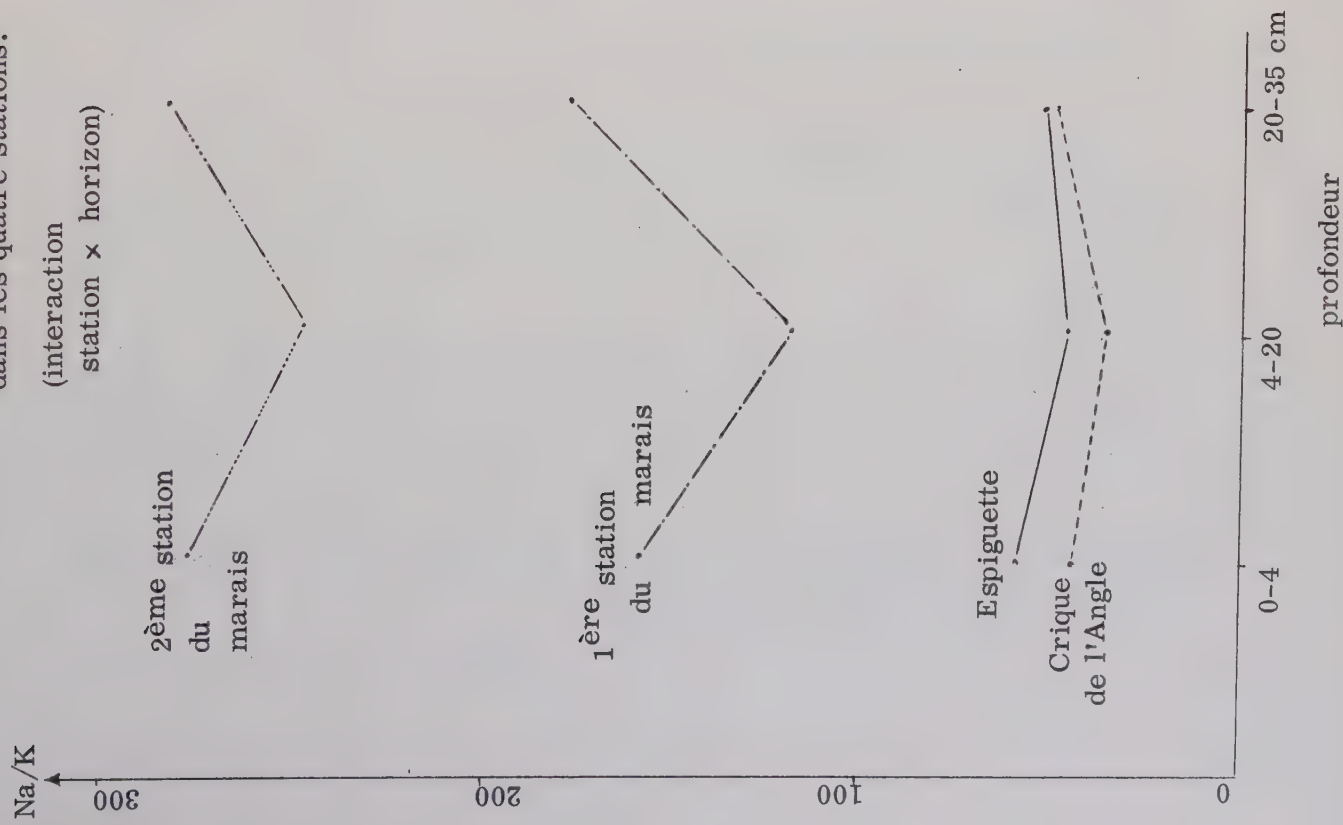
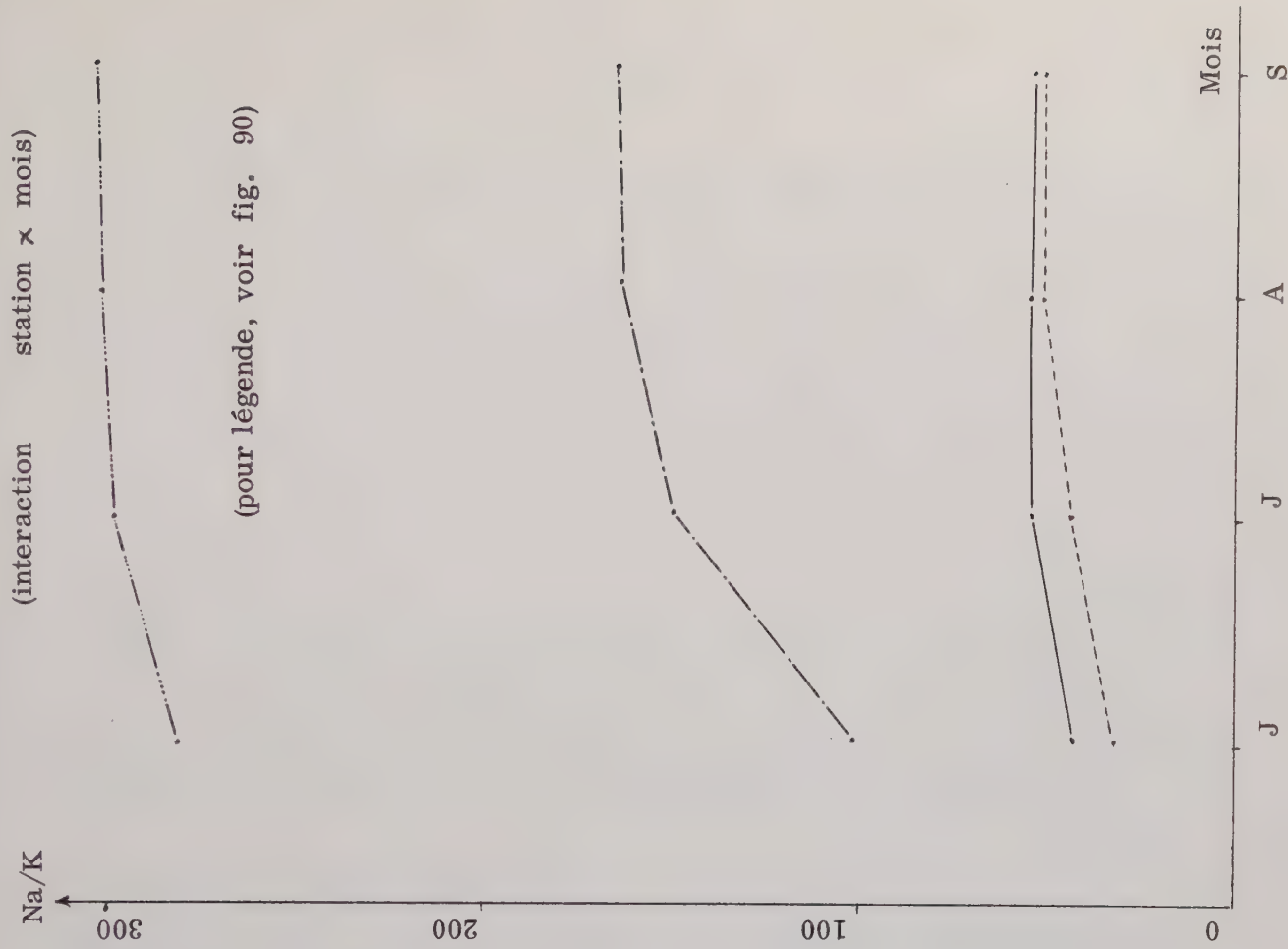


Fig. 91 - Variations saisonnières du rapport Na/K dans les quatre stations.



Les autres interactions (horizon $\times$ mois et station $\times$ mois) ne sont pas significatives.

LES VARIATIONS DU RAPPORT Na/K ET LA RÉPARTITION DES RACINES

La composition ionique des sels solubles varie d'une station à l'autre (voir page 200) et à l'intérieur d'une même station, les proportions des constituants de la salinité sont également sujettes à des variations sensibles - souvent statistiquement significatives - dans les horizons et au cours des saisons.

Les variations du rapport Na/K sont semblables dans toutes les stations étudiées, et elles peuvent être mises en parallèle avec la répartition des racines; les horizons d'enracinement ont toujours les valeurs les plus basses dans les quatre stations.

Avant d'entreprendre la discussion de l'influence de ces variations sur la répartition des racines, nous allons faire une synthèse de l'ensemble de nos observations sur ce sujet et essayer d'en déduire une hypothèse pour les expliquer.

En tenant compte des quatre stations, les variations du rapport Na/K peuvent être représentées schématiquement de la façon suivante : pendant la période de dessalinisation du profil, il existe un gradient croissant du rapport Na/K avec la profondeur. A mesure que l'on se rapproche de l'été, le rapport Na/K augmente dans tous les horizons, et cette remontée est beaucoup plus accentuée dans la couche superficielle.

Il en résulte que, pendant la saison sèche, le gradient du rapport Na/K est perturbé en surface mais reste pratiquement intact dans le reste du profil.

Parmi les hypothèses envisagées, pour expliquer ces variations, la suivante nous paraît la plus admissible.

L'apport des sels solubles par l'eau d'inondation marine est la cause la plus importante de l'enrichissement en sel des stations. Le pouvoir d'adsorption et de fixation du sol est variable à l'égard des différents ions.

La couche superficielle étant la première en contact avec la solution saline marine exerce librement son choix, tandis que les horizons inférieurs reçoivent une solution dont la composition ionique est en quelque sorte tamisée.

Cela expliquerait la diminution de la proportion du K^+ avec la profondeur.

En cours de saison, par suite de l'accumulation des sels venant de la profondeur (donc pauvres en K^+), on observe une augmentation du rapport Na/K dans la couche superficielle.

Cette même explication est valable pour les variations de ce rapport dans les autres couches du sol.

Malgré ces variations saisonnières, l'horizon d'enracinement conserve les valeurs les plus basses du rapport Na/K .

Le problème du rapport entre les éléments nutritifs et toxiques, désigné souvent par l'expression équilibre ionique du milieu, apparaît comme de plus en plus important dans la physiologie des halophytes.

GREENWAY (1962), à la suite des recherches effectuées sur Hordeum vulgare, a constaté que l'augmentation de la concentration en Na^+ du milieu influence le mécanisme du déplacement et de la localisation du K^+ chez cette espèce.

Ce même auteur a, par ailleurs, constaté que la présence de ClNa à des doses élevées dans le milieu, diminue le taux du K^+ contenu dans tous les organes de la plante de façon considérable.

SATYANARAYNA et RAO (1963) ont constaté que, chez Cynodon dactylon et Eragrostis tenella, l'absorption de Na^+ , Ca^+ et K^+ est en relation avec leur concentration dans le milieu.

RAINS et EPSTEIN (1965) ont observé que l'absorption de Na^+ et K^+ par les racines d'Hordeum vulgare est influencée par la concentration du milieu en ions, et qu'il existe une sorte d'antagonisme entre les deux cations.

GREENWAY et coll. (1966) ayant étudié des halophytes et des non halophytes dans des milieux salés et non salés, ont constaté que la résistance des halophytes vis-à-vis du sel réside dans le fait qu'ils parviennent mieux à régulariser les proportions des éléments minéraux dans l'appareil végétatif.

HEIMANN et RANTER (1966) ont constaté que le rapport entre Na^+ et K^+ est d'une importance primordiale dans l'équilibre ionique du milieu et que le K^+ joue le rôle d'un élément antagoniste vis-à-vis des effets de l'excès de Na^+ .

Il est intéressant de constater que l'équilibre ionique du milieu subit des variations même significatives, le long du profil, et on peut établir un certain parallélisme entre ces variations et la répartition des racines.

La diminution de la proportion du K^+ dans les couches inférieures du profil semble contribuer à la stratification des racines.

L'influence de ces modifications du rapport Na/K sur la répartition des racines est peut-être plus qu'une simple contribution au déterminisme de la stratification. Nous ne pouvons pas, toutefois, préciser davantage l'importance du rôle de Na/K dans ce phénomène, à cause de deux faits suivants :

1° Les variations du rapport Na/K ne sont pas les seuls caractères qui différencient les horizons d'enracinement des couches dépourvues de racines. Il en existe d'autres, ainsi que nous l'avons mis en évidence (présence de la nappe). Nous n'avons pas pu étudier séparément l'influence de ces facteurs, ce qui est souvent le cas dans les recherches écologiques.

2° Les variations de l'équilibre ionique du milieu peuvent porter également sur d'autres ions.

N'ayant pas approfondi les choses sur ce point, nous ne nous sommes pas permis d'attribuer une influence déterminante à la seule diminution de la proportion du K^+ dans les couches inférieures, bien que les auteurs précités attachent une importance extrême au rôle de cet ion dans l'équilibre ionique du milieu.

RÉSUMÉ

ET CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Le présent travail est essentiellement destiné à la recherche du comportement des racines de deux Arthrocnemum (A. glaucum et A. fruticosum) de la flore française vis-à-vis des facteurs écologiques. Nous avons surtout cherché à connaître le rôle des facteurs édaphiques dans la stratification des racines de ces espèces. Dans ce but, nous avons fait des études comparatives des systèmes racinaires et des conditions écologiques dans des stations variées.

Sept stations réparties dans trois localités différentes de la région montpelliéraine ont été choisies.

Les données observées dans quatre stations ont été exposées en détail dans le texte, les autres données concernant trois stations ont servi de répétition, nos recherches ayant mis en évidence qu'elles étaient pratiquement les mêmes que dans les quatre.

Nous avons d'abord vérifié l'identité des individus de nos stations. Nous y avons employé non seulement les méthodes morphologiques classiques, mais encore la caryologie des espèces, ce qui nous a permis de constater que A. fruticosum de la région montpelliéraine c'est-à-dire de toutes nos stations (ainsi que celui de la région bordelaise et vraisemblablement les individus de

toutes les côtes françaises), est un taxon polyploïde, nouveau, inconnu jusqu'ici, auquel nous avons attribué le rang de sous-espèce : A. fruticosum subsp.

Embergeri. Les individus d' A. glaucum correspondent tous au taxon typique.

L'étude de chaque station comprend essentiellement deux parties distinctes :

- le comportement des Arthrocnemum et, en particulier, celui de leur système racinaire;
- les conditions écologiques.

Dans la recherche des facteurs déterminant la stratification des racines, les facteurs édaphiques tels que la texture, la structure du sol et le pH ont été étudiés.

Une grande partie de notre travail est consacrée à l'étude de la salure qui est le facteur dominant.

Nous avons étudié en particulier les variations du niveau de la nappe phréatique, ainsi que celles de sa salinité et de la composition ionique de ses sels solubles. De plus, pendant toute une année, les variations de l'humidité, les modifications quantitatives et qualitatives (proportions de Cl^- , Na^+ et K^+) des sels solubles, et les variations de la teneur en Ca^{++} actif de différents horizons du sol ont été suivies.

L'interprétation de la plupart des données observées a été faite à l'aide des analyses statistiques. Les conclusions les plus importantes peuvent être résumées de la manière suivante : la texture du sol influence profondément la répartition latérale des racines; la surface de l'extension horizontale est beaucoup plus grande dans les sols à texture grossière que dans les sols à texture fine. Par contre, la composition granulométrique ne semble pas déterminer la répartition verticale des racines; d'autres facteurs y ont une influence plus grande qu'elle.

Les Arthrocnemum se plient aux conditions de texture différente en modifiant non seulement la surface de l'extension des racines mais aussi la

proportion des racines adventives. Celles-ci sont beaucoup plus abondantes dans les sols fins que dans les sols à texture grossière.

La texture détermine le rapport entre les parties aérienne et souterraine de la plante, la sensibilité de la partie aérienne étant, vis-à-vis des variations de texture, plus grande que celle de la partie souterraine.

La localisation des racines dans les couches superficielles du sol de 0 à 30 cm de profondeur, semble être déterminée par plusieurs facteurs édaphiques. Nous avons, en effet, pu mettre en évidence un parallélisme entre la répartition verticale des racines et les variations de plusieurs facteurs importants : la présence de la nappe, sa concentration en sels solubles, les caractères hydromorphes des horizons inférieurs et surtout l'abaissement de la porosité qu'elle entraîne, sont des causes importantes de la stratification des racines.

Les variations quantitatives de la salinité ne semblent pas intervenir dans la localisation des racines, mais, par contre, nous avons trouvé des rapports positifs entre les modifications qualitatives des sels solubles et la stratification des racines. Dans toutes les stations, les horizons d'enracinement sont précisément ceux qui possèdent les valeurs les moins élevées du rapport Na / K.

Notre travail a permis également d'obtenir d'autres résultats, concernant notamment les rapports entre les sels solubles du sol et ceux de la nappe, ainsi que l'influence de la nature du sol sur la composition des sels dissous de la nappe et du sol.

Dans chaque station, il existe une similitude entre la salinité du sol et celle de la nappe, qui se traduit aussi bien sous des aspects qualitatifs que quantitatifs.

Enfin, nous avons démontré que les variations des sels solubles entre les différents horizons du profil et au cours des saisons sont non seulement quantitatives, mais aussi qualitatives.

BIBLIOGRAPHIE

- ADRIANI M.J., 1934 - Recherches sur la synécologie de quelques associations halophiles méditerranéennes. — S.I.G.M.A. comm., 32 : 1-32.
- BALL P.W., 1964 - Genre Arthrocnemum Moq. in Flora europaea 1, 101.
- BERTRAND A.R. et KOHNKE H., 1959 - Subsoil conditions and their effects on oxygene supply and the growth of corn roots — Soil sci. soc. Amer. proc., 21 : 135-140.
- BINET P. et LANGLOIS J., 1961 - Précisions sur quelques caractères de Salicornia stricta Dumort., S. patula Moss. et S. appressa Dumort. — Bull. de la soc. bot. fr., 108 : 387-393.
- BINET P., 1962 - La répartition du sodium et du potassium chez Suaeda macrocarpa Moq. — Physiologia plantarum, 15 : 428-436.
- BLANCHET R., 1958 - Energie d'absorption des ions minéraux par les colloïdes du sol et nutrition minérale des plantes. — Thèse Doct. Etat, Paris, 187 p.
- BROTERNBROOD et coll., 1956 - Quelques données sur l'écologie de la végétation des dunes et sur la fonction de l'enracinement dans l'édification des dunes de la côte méditerranéenne de la France. — S.I.G.M.A. comm., 131 : 535-547.
- BRAUN BLANQUET J., NÈGRE R., ROUSSINE N., 1952 - Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. — C.N.R.S. et Direction Carte group. vég. Afr. Nord, 297 p.

- BRAUN BLANQUET J. et RAMM Cl. (de), 1957 - Les prés salés du Languedoc méditerranéen. — S.I.G.M.A. comm., 139 : 5-43.
- CANDOLLE A.P. (de), 1827 - Organographie végétale ou description raisonnée des organes des plantes, 1 : 258.
- CANNON W.A., 1949 - A tentative classification of root systems. — Ecology, 30 : 542-548.
- CASTRO E.F. et FONTÈS C., 1946 - Primeiro contacto citologico com a flora halofila dos salgados de sacavem. — Broteria, 15 (1) : 38-47.
- CHAPMAN V.J., 1960 - Salt marches and salt deserts of the world. 392 p., London, Leonard Hill Books.
- CHEVALIER A., 1922 - Les salicornes et leur emploi dans l'alimentation. Etude historique, botanique, économique. — Rev. bot. appliquée, 2 : 696.
- CORRE J.J., 1961 - Une zone de terrains salés en bordure de l'étang de Mauguio. Etude du milieu et de la végétation. — Bull. serv. cart. phytogéogr. sér. B 7 (1) : 9-47.
- DARLINGTON C.D. and LACOUR L.F., 1950 - The handling of chromosomes, 263 p., London, George Allon & Unwin, L.T.D.
- DE JONG W.W.W., 1965 - Les types d'enracinement des espèces du Juncion maritimi méditerranéen. — S.I.G.M.A. comm. 170 : 175-208.
- DESANNETTES J.R., 1952 - Emploi des méthodes américaines de caractérisation des sols salés. — Labo. pédologie, hydrologie, Tunis, 1-47.
- DUBUIS A. et SIMONNEAU P., 1960 - Contribution à l'étude de la végétation halophile des bassins fermés du plateau d'Oran. — Serv. et. Sci. végétation, 11 : 5-114.
- DUCHAUFOR Ph., 1965 - Précis de pédologie, 438 p., Paris, Masson et Cie.

- DUVAL - JOUVE, 1868 - Des Salicornia de l'Hérault. — Bull. soc. bot. fr., 15 : 132-140 et 165-178, 2 pl.
- EMBERGER L., 1930 - La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. — Revue générale botanique, 42 : 641-662 et 705-722.
- EMBERGER L., 1942 - Un projet de classification des climats au point de vue phytogéographique. — Bull. soc. hist. Toulouse, 77 : 97-124.
- EMBERGER L., 1955 - Une classification biogéographique des climats. — Recueil trav. labo. bot., géol., zoo. Fac. Sciences, Montpellier ser. bot. : 3-43, 9 fig.
- FLOCKER W.J. and NIELSEN D.R., 1960 - Relationship between soil moisture and air space associated with levels of bulk density that influence growth of tomatoes. — 7th Inter. cong. of soil sci. Madison, wisc. U.S.A., 347-353.
- FRIBOURG H.A., 1953 - A rapid methode for washing roots. — Agron. journ., 45 : 334-335.
- GEHU - FRANK J., 1959 - Procédé d'élimination rapide de la matière organique pour l'application de la méthode de Drouvineau aux sols très humifères. — Bull. de la soc. bot. fr., 105 (5, 6) : 106.
- GREENWAY H., 1962 - Plant response to saline substrats; II.- Chloride sodium and potassium uptake and translocation in young plant of Hordeum vulgare during and after a short sodium chloride treatment. — Austral. Journ. Biol. Sci., 15 (1) : 39-57.
- GREENWAY H., 1963 - Plant response to saline substrats. III. - Effect of nutrient concentration on the growth and ion uptake of Hordeum vulgare during a sodium chloride stress. — Austral Journ. Biol. Sci., 16 (3) : 616-627.
- GREENWAY H., GUNN A., THOMAS D.A., 1966 - Plant response to saline substrats. XIII. - Regulation of ion concentrations in salt sensitive and halophytic species. — Austral. Journ. Biol. Sci., 19 (5) : 741-756.

- HAAS H.J. and ROGLER G.A., 1953 - A technique of photographing grass roots in situ. — Agron. Journ., 45 : 173.
- HALKET A.C., 1915 - The effect of salt on the growth of Salicornia. — Ann. of Bot., 29 : 198-210.
- HANKS R.J. and THORP F.C., 1956 - Seedling emergence of wheat as related to soil moisture content, bulk density, oxygene diffusion rate and crust strength. — Soil sci. soc. Amer. proc., 20 : 307-310.
- HEDING A.P. and VANDENLENG, 1960 - Relation between pore volume and formation of root system. — Trans. 7th Inter. cong. of soil sci., 1 : 369-373.
- HEIMANN H. and RATER R., 1966 - Experiments on the basis of the principe of the balance of ionic environment in Boyko H.; Salinity and aridity, 289-293.
- HIDDING A.P. and VAN DEN BERG, 1960 - The relation between pore volume and the formation of root system in soils with sandy layers. — 7th Inter. cong. of soil sci., Madison wisc. U.S.A.
- KEARNEY T.H., 1918 - Plant life on saline soils. — Wash. Acad. sci. journ., 8 : 109-125.
- KHATIB A., 1959 - Etude anatomique et systématique des Chénopodiacées du Moyen Orient (Syrie). (Essai d'anatomie comparée) Thèse de Doct. Etat, Fac. sci. Montpellier, 128 p.
- KIVENHEINO V.J., 1947 - Untersuchungen über die wurzelsystem des samenpflanzen in der bodenvegetation den wälder. Finlands. — Ann. Bot. Soc. Zool. Bot. Fenn. Vanamo, 22 (2) : 1-180.
- KRAMER P.J., 1949 - Plant and soil water relationship. — 347 p., New York, Mc grow Hill.
- LAMOTTE M., 1962 - Initiation aux méthodes statistiques en biologie. — 144 p., Paris, Masson et Cie.

- LINKOLA K. et TÜRKKÄ A., 1936 - Über wurzelsystem und wurzelansbreitung der wiesenpflanzen auf verschiedenen wiesenstandorten. — Ann. Bot. Soc. Zool. - Bot. Fenn. Vanamo, 6 : 1-207.
- MASON E., 1928 - Note on the presence of mycorrhize in the roots of salt marsh plants. — New. phytol., 27 : 193-195.
- MATHIEU H., 1946 - Manuel d'analyse chimique volumétrique, 481 p. Paris, Masson et Cie.
- Mc QUEEN D.R., 1966 - La répartition quantitative des racines absorbantes du pin sylvestre et du hêtre d'une série évolutive naturelle en Margeride (Massif Central). — Thèse de spécialité. Fac. Sci. Montpellier, ronéo, 163 p.
- METRO A. et SAUVAGE Ch., 1957 - Observation sur l'enracinement du chêne-liège en Mamora (Maroc occidental). — Ann. recherche forestière, Maroc, 5 : 3-32.
- MOLINIER R. et coll., 1964 - Etudes phytogéographiques et écologiques en Camargue et sur le plan de Bourg - tiré à part 95 p. de Ann. Fac. Sci. Marseille, 36.
- MOLINIER R. et TALLON G., 1965 - Etude botanique en Camargue. I - La Camargue pays des dunes; II - Vers la forêt en Camargue tiré à part. — La terre et la vie, 1 et 2 : 1-192.
- METSÄVINIO K., 1931 - Unter suchurgen über das wurzelsystem der Moorpflanzen. — Ann. Bot. Soc. Zool. - Bot. Fenn. Vanamo, 1 : 1-418.
- NOVIKOFF G., 1958 - Relation entre la structure de la végétation et la stratification des milieux halophiles en Tunisie. — Bull. serv. carte phytogéographique sér. B, 3 (1) : 69-83.
- NOVIKOFF G., 1965 - Contribution à l'étude des relations entre le sol et la végétation halophile de Tunisie. — Thèse Doct. Etat. Fac. Sci. Montpellier, 339 p.
- PAVLYCHENKO T.K., 1937 - Quantitative study of the entire root system of weed and crop plant under field conditions. — Ecology, 18 : 62-79.

- PAVLYCHENKO T.K., 1937 - The soil block washing method in quantitative root study. — Canad. Journ. Res., 15 : 33-57.
- PAVLYCHENKO T.K., 1937 - Methods of excavating roots. — Ecology, 18 : 64-65.
- PHILLIPS R.E., 1959 - Soil compaction and corn growth presented before Div. I : Soil sci. soc. Amer. at Cincinnati, Ohio. Nov.
- RAINS D.W. et EPSTEIN E., 1965 - Transport of sodium in plant tissue. Sciences (U.S.A.), 148, (3677) : 1611.
- RICHARDS et coll., 1954 - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. — U.S.A. Agriculture Hand Book n° 60, 160 p.
- ROBERTSON R., 1955 - Penetration of roots of tall wheat grass in wet saline alkali soil. — Ecology, 36 (4) : 355-356.
- SATYANARAYNA K. et RAO C.C., 1963 - Physiological basis of alkali tolerance. I - Absorption of Na, K et Ca. — Sciences and culture, 29 (8) : 410-411.
- SAUVAGE Ch., 1961 - Recherches géobotaniques sur les subéroides marocaines. — Thèse Doct. Etat - Fac. sci. Montpellier, 462 p. -Tanger.
- SCHOELLER H., 1962 - Les eaux souterraines. — Paris, Masson et Cie, 642 p.
- SCHUURMAN J.J. and GOEDEWAAGEN M.A.J., 1955 - A new method for the simultaneous preservation of profiles and root systems. — Plant and soil, 6 : 373-381.
- SCHUURMAN J.J. and GOEDEWAAGEN M.A.J., 1956 - Growth and root development of spring wheat on various loam profiles underlain by sand in relation to the fertilization of the subsoil. — Rapports VI^e cong. inter. de la sci. du sol, Paris, 325-334.
- SCHUURMAN J.J. et GOEDEWAAGEN M.A.J., 1965 - Methods for the examination of root systems and roots. — Wageningen centre for agriculture publications and documentation, 86 p.

- SERVANT J. et SERVAT E., 1966 - Introduction à l'étude des sols salés littoraux du Languedoc-Roussillon. — Ann. Agron., 17 (1) : 53-73.
- SIMONNEAU P., 1952 - La végétation halophile de la plaine de Perrégaux (Oran). — Thèse de Doct. Etat. Fac. sci. Alger, 284 p.
- SPRAGUE H.B., 1933 - Root developpement of prennial grasses and relations to soil conditions. — Soil sci., 36 : 189-209.
- STEPHENSON R.E., 1935 - Root penetration in relation to soil aeration. — Oregan state Hort. soc. ann. rept., 27.
- STOECHLER J.H. and KLUENDER W.A., 1938 - The hydraulic method of excavating the root systems of plants. — Ecology, 19 : 355-369.
- THAMES J.L. and REYNOLDS R.D., 1961 - A hydraulic soil sampler. — Agric. Engin., 42 : 431-432.
- UPCHURCH R.P., 1951 - The use of trench-wash and soil-elution methods for studying alfalfa roots. — Agron. Journ., 43 : 552-555.
- WACQUANT J.P., 1966 - Conceptions géopédologique et phyto-édaphique pour l'étude des formations superficielles terrestres. — Thèse de Doct. spécialité, ronéotypée, 340 p.
- WALTER H., 1960 - Grundlagen der pflanzen verbei, 1 (3) : 270-287.
- WEAVER J.E. and VOIGT J.W., 1950 - Monolith of root sampling in studies on succession and degeneration. — Bot. Gaz., 111 : 286-299.
- WEAVER J.E., 1958 - Classification of root systems of forles of grassland and a consideration of their significance. — Ecology, 39 : 393-401.
- VEIHMEYER F.J. and HENDRICKSON A.H., 1946 - Soil density and root penetration. — Soil sci., 65 : 487-493.

- WILLIAMS F.E. and BAKER H.K., 1957 - Studies on the root development of herbage plants. 1 : Technique of herbarage root investigations. — Journ. Brit. Grassl. Soc., 12 : 49-55.
- YANO N., 1962 - The subterranean organ of sand dune plants en Japon. — Journ. sci. Hirochima univers., sér. B div. 2, 9 (3) : 139-185.
-

A N N E X E

Analyse de covariance $[y = f(x)]$

d.l.	S Q _x	S Q _{xy}	S Q _y	corr.	S Q corr.	d.l.	Variance	t	P
1	3 346 285	2 845 054	2 418 900	—	244 986	1	244 986	5,2	0,01-0,001
6	794 855	184 889	87 959	43 006,5	44 952	5	8 990,7	—	—
7	4 141 140	3 029 943	2 506 859	2 216 915	289 938	6	—	—	—
entre stations à l'intérieur de la station Totale									

Tableau N° 18

Analyse de covariance $[x = f(y)]$

d.l.	S Q _x	S Q _{xy}	S Q _y	Corr.	S Q corr.	d.l.	Variance	t	P
1	3 346 285	2 845 054	2 418 900	—	71 800	1	71 800	0,97	0,40-0,30
6	794 855	184 889	87 959	388 635	406 220	5	81 244	—	—
7	4 141 140	3 029 943	2 506 859	3 663 060	478 080	6	—	—	—
entre stations à l'intérieur de la station Totale									

Tableau N° 19

Tableau N° 20

Source de variations	Degrés de liberté (N)	Sl	$V = \frac{Sl}{N}$	$F = \frac{V}{V_{\text{erreur}}}$	P
Station (S)	3	44 633 361	14 877 787	5 782	$\ll 0,001$
Horizon (H)	3	117 576	39 192	15,2	$< 0,001$
Mois (M)	3	121 301	40 436,6	15,71	$< 0,001$
Interaction					
S $\times$ H	9	1 297 295	144 143,8	56,13	$< 0,001$
S $\times$ M	9	103 846	11 538,4	4,48	0,01-0,001
H $\times$ M	9	27 827	3 091,8	1,20	
Erreur	27	69 488	2 573	-	-
TOTAL	63	46 370 634	-	-	-

Tableau N° 21

Source de variations	Degrés de liberté (N)	Sl	$V = \frac{Sl}{N}$	$F = \frac{V}{V_{\text{erreur}}}$	P
Station (S)	3	541 103	180 367	740	$\ll 0,001$
Horizon (H)	2	14 120	7 060	29	$< 0,001$
Mois (M)	3	7 028	2 342	9,6	$< 0,001$
Interaction					
S $\times$ M	9	4 374	486	2,0	0,10
S $\times$ H	6	25 194	4 199	17,2	$< 0,001$
H $\times$ M	6	2 118	353	1,45	$> 0,20$
SMH = erreur	18	4 385	243,6	-	
TOTAL	47				

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

EMPRUNTEE A LA FLORE DE L'AFRIQUE DU NORD

ARTHROCNUM GLAUCUM

- A. glaucum (Del.) Ung. - Sternb., Atti Congr. Bot. Firenze, 283, 1874 (1876).
Salicornia virginica Forssk., Fl. Aeg. — Arab., 2, 1775.
S. indica Willd., Nov. Act. H. Nat., 5, 111, tab. 4, fig. 1, 1799.
S. glauca Del., Fl. Aeg. Illustr., 69, 1813.
S. macrostachya Moric., Fl. Venet, 1 : 2, 1820.
A. macrostachyum (Moric.) Moris et Delp., Ind. Sem. Hort. Bot. Taur., 35, 1854.
A. indicum (Willd.) Moq., Chenop. Enum., 112, 1840.

Racine ligneuse, épaisse, pivotante ou oblique. Tiges très rameuses, dressées ou couchées, à rameaux dressés, formant un buisson ordinairement dense, pouvant atteindre 1 m de hauteur; tiges couchées, $\frac{+}{-}$ radicales, ligneuses. Parties herbacées vertes ou $\frac{+}{-}$ glauques, glabres. Rameaux articulés, à articles cylindriques ou claviformes, $\frac{+}{-}$ épais, pouvant atteindre 10 mm long., mais ordinairement bien plus courts et presque aussi larges que longs. Feuilles à partie libre très courte, formant une gaine légèrement bilobée, à marge hyaline,

à lobes apiculés. Epis dressés, denses, terminaux et latéraux, formant un épi composé $\perp$ dense au sommet des rameaux, cylindriques ou obtusément anguleux, épais, 3-6 cm long., 3-4 mm larg., jaunes ou jaunâtres, produits par les rameaux de 2 ans. Feuilles florales très courtes, cachant ordinairement incomplètement les fleurs. Fleurs ternées, dans une logette simple, égales, atteignant à peine les $\frac{2}{3}$ de l'article auquel elles sont accolées. Périclanthe 2-4 mm long., à 3 dents courtes au sommet. Fleurs protandres. Etamines 2, à filets capillaires, concrets à la base avec l'ovaire; anthères à la fin, exsertes, jaunes, oblongues, c. 1,5 mm, bilobées à la base, avec les lobes apiculés. Ovaire portant 2 stigmates capillaires, connés à la base en un style allongé et grêle. Périclanthe fructifère un peu renflé, enfermant complètement le fruit. Graine verticale, oblongue, un peu comprimée, brun-noir, luisante, verruqueuse sur le dos, très finement réticulée sur les faces latérales, c. 0,9 x 0,65 mm. Floraison : avril-octobre.

Aire géographique

Europe méridionale. Asie occidentale. Egypte. Macaronésie.
Afrique tropicale et australe. Asie méridionale. Australie. Nouvelle-Zélande.

ARTHROCNUM FRUTICOSUM

A. fruticosum (L.) Moq., Chenop. Enum., 111, 1840.

S. arabica L., Sp. pl., 3, 1753.

S. fruticosa L., Sp. pl., ed. 2, 5, 1762.

S. fruticulosa Tineo, Cat. pl. Hort. Panorm., 280, 1827.

S. sempervirens Sauvages ex steud., Nom., ed. 2, 2, 493, 1841.

Racines robustes, rameuses, tortueuses, pouvant atteindre 2 cm diam. Tiges ligneuses, très rameuses, dressées, formant des touffes pouvant atteindre 1 m de hauteur, rarement ⁺ couchées et radicales. Parties herbacées vertes ou vert glauque et glabres. Entre-nœuds cylindriques, 0,6 - 1,5 cm long. Feuilles assez charnues, formant une gaine cupulaire très courte, à marge hyaline, à pointes libres très courtes, brièvement acuminées ou ogivales. Chlorenchyme contenant des stéréides à membrane mince, striée-spiralée; stomates à contour elliptique. Epis florifères terminaux et latéraux sur les pousses de l'année, 1,5-9 cm long., 3-4 mm diam., obtus. Fleurs par 3, rarement par 5; écusson médian tétragone, plus grand que les latéraux, trigones, et les séparant complètement; cavité de l'axe renfermant les fleurs, présentant après leur chute 3 logettes dont la médiane sépare complètement les latérales; fleurs atteignant les 2/3 du segment adjacent. Lèvres de l'orifice du périanthe très apparentes et scarieuses. Etamines ordinairement 2,

postérieure et antérieure, ou 1 postérieure; anthères jaunes, exsertes, c. 1 mm, légèrement apiculées au sommet. Stigmates 2. Graine brun-clair ou gris-brun, ovoïde, un peu comprimée, $1,2-1,4 \times 0,8-0,9$ mm, couverte de poils très courts et coniques, rendant la graine échinulée, les poils supérieurs plus longs et apprimés, parfois tous les poils allongés, bruns, tous droits. Albumen mou, presque nul. Floraison : septembre-octobre.

Aire géographique

Europe. Asie occidentale. Egypte. Afrique australe. Amérique centrale et méridionale. Polynésie.

TABLE DES MATIÈRES

Page

PREMIÈRE PARTIE

Généralités

Chapitre I	Délimitation et but du travail	2
Chapitre II	Aperçu général sur la classification des racines	7
Chapitre III	Principes et méthodes	14
Chapitre IV	Etude caryologique des espèces étudiées	22
Chapitre V	Terminologie du vocabulaire employé dans l'étude des racines de notre texte	27
Chapitre VI	Caractères généraux des racines d' <u>A. glaucum</u> et <u>A. fruticosum</u>	29
Chapitre VII	Description des stations choisies dans les trois localités	32
Chapitre VIII	Etude climatologique	40

DEUXIÈME PARTIE

Stations étudiées

Chapitre I	L'Espiguette	52
Chapitre II	La crique de l'Angle	91
Chapitre III	Les deux stations du marais de la Grande Palude	125

TROISIÈME PARTIE
Discussion et Interprétation

Chapitre I	Etude des rapports entre la salinité de la nappe et du sol	196
Chapitre II	L'influence de la composition granulométrique du sol sur l'extension des racines et le rapport entre la partie aérienne et la partie souterraine de la plante	202
Chapitre III	Le Ca^{++} actif et la répartition des racines	210
Chapitre IV	Répartition des sels solubles dans le profil et stratification des racines	214
Chapitre V	Le rôle et l'influence de la nappe phréatique	216
Chapitre VI	La porosité	219
Chapitre VII	Variations du rapport Na/K et la répartition des racines	223
Résumé et conclusion		230
Bibliographie		233
Annexe		241

DEUXIÈME THÈSE

Microbiologie des sols salés.

Vu et permis d'imprimer
Montpellier, le

Le RECTEUR
de l'Académie de Montpellier

Vu et approuvé
Montpellier, le

Le DOYEN
de la Faculté des Sciences
de Montpellier

